



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra biomedicínské techniky**

**Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic  
elektrickou impedanční tomografií na dechové objemy**

**Effect of electrode belt used for lung monitoring using  
electrical impedance tomography on tidal volume**

**Bakalářská práce**

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Autor bakalářské práce: Tereza Blažková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kristýna Buzková

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2016/2017

## Z a d á n í   b a k a l á ř s k é   p r á c e

Student: **Tereza Blažková**  
Obor: Biomedicínský technik  
Téma: **Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na dechové objemy**  
Téma anglicky: Effect of electrode belt used for lung monitoring using electrical impedance tomography on tidal volume

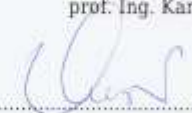
### Zásady pro vypracování:

Se zdravými dobrovolníky realizujte studii analyzující vliv stlačení hrudníku elektrodovým pásem používaným při monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na poddajnost hrudní stěny, respektive na dechové úsilí a dechové objemy pacienta. Výsledky statisticky vyhodnoťte a vyvoďte případné důsledky pro klinickou praxi. Dále navrhnete pilotní experiment pro ověření získaných výsledků, v rámci kterého bude pomocí spirometrie monitorován zdravý dobrovolník napojený na řízenou ventilační podporu.

### Seznam odborné literatury:

- [1] Richard Grünes, Karel Roubík, Elektrická impedanční tomografie a její využití v respirační péči, Lékař a technika, ročník 38, číslo 1, 2008
- [2] J. Guttman, H. Bernhard, G. Mols, A. Benzing, P. Hofmann, K. Geiger, C. Haberthür, D. Zappe, B. Fabry, Respiratory comfort of automatic tube compensation and inspiratory pressure support in conscious humans, Intensive Care Medicine, ročník 23, číslo 11, 1997, Listopad, 1119-1124 s.
- [3] Steffen Leonhardt, Burkhard Lachmann, Electrical impedance tomography: the holy grail of ventilation and perfusion monitoring?, Intensive Care Medicine, ročník 12, číslo 38, 2012

Zadání platné do: 11.09.2018  
Vedoucí: Ing. Kristýna Buzková  
Konzultant: prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D.

  
vedoucí katedry / pracoviště

  
děkan

V Kladně dne 20.02.2017

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na dechové objemy“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 19.5.2017

.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí své bakalářské práce, paní Ing. Kristýně Buzkové za veškerou pomoc, které mi byla poskytnuta, trpělivost a cenné rady při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat všem dobrovolníkům, kteří se studie zúčastnili. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za podporu po celou dobu studia.

Tato bakalářská práce byla podpořena z grantu č. SGS16/258/OHK4/3T/17.

## **ABSTRAKT**

### **Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na dechové objemy**

Cílem této práce je zjistit, zda má elektrodový pás používaný při monitoraci plic pomocí elektrické impedanční tomografie vliv na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy vyšetřovaného jedince. Studie se zúčastnilo 10 dobrovolníků, ženy i muži. K měření jejich dechových objemů byl použit spirometr Ergostik (Geratherm) a elektrodový pás, který je příslušenstvím EIT systému PulmoVista 500 (Dräger). Vliv elektrodového pásu na dechové objemy byl ověřen monitorováním dechových objemů pomocí spirometru, nejprve bez elektrodového pásu a následně s ním. Použitím studentova t-testu byly rozdíly v naměřených dechových objemech bez elektrodového pásu a s ním vyhodnoceny jako statisticky nevýznamné. Závěrem této práce je, že ačkoliv se pro námi zkoumaný vzorek subjektů nepodařilo jednoznačně prokázat vliv elektrodového pásu, je patrné, že ke změnám v dechových objemech dochází. Nepodařilo se určit, zda při upnutém elektrodovém pásu dochází ke zvětšování či zmenšování dechových objemů. K získání přesnějších výsledků je zapotřebí provést studii na větším vzorku subjektů.

### **Klíčová slova**

elektrická impedanční tomografie, elektrodový pás, dechový objem, poddajnost hrudní stěny

## **ABSTRACT**

### **Effect of electrode belt used for lung monitoring using electrical impedance tomography on tidal volume**

The aim of this thesis is to determine whether the electrode belt used for lung monitoring affects tidal volume and chest wall compliance of monitored person. The study was attended by ten probands, both men and women. Their tidal volumes were measured by spirometer Ergostik (Geratherm) and with electrode belt, which is accessory of EIT system PulmoVista 500 (Dräger). The influence of electrode belt was verified by monitoring of tidal volumes by spirometer, with and without this belt. The differences in mean values were calculated with and without electrode belt. These differences were then determined by student's t-test as statistically insignificant. The conclusion of the thesis is, that although for this sample of subjects failed to prove the influence of electrode belt, it is evident, that there are differences in tidal volumes. It isn't clear if tidal volumes have with electrode belt higher or lower value. For more precise results, it is necessary to perform this study with bigger sample of subjects.

### **Keywords**

electrical impedance tomography, electrode belt, tidal volume, chest wall compliance

# Obsah

<b>Seznam symbolů a zkratk.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>10</b>
1.1 Přehled současného stavu.....	11
1.1.1 Princip elektrické impedanční tomografie.....	11
1.1.2 Systém PulmoVista 500 .....	13
1.1.3 Vliv elektrodového pásu na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy 14	
1.1.4 Spirometrie .....	14
1.1.5 Základní dechové objemy a kapacity .....	15
1.1.6 Mechanika dýchání.....	17
1.1.7 Dechové úsilí .....	18
1.1.8 Poddajnost respirační soustavy.....	19
1.2 Cíle práce.....	19
<b>2 Plán studie .....</b>	<b>20</b>
2.1 Pilotní měření .....	20
2.2 Návrh studie .....	20
2.3 Dokumenty pro etikou komisi.....	20
2.3.1 Žádost o projednání .....	20
2.3.2 Informovaný souhlas .....	20
2.3.3 Syllabus výzkumného projektu .....	21
2.4 Dokumenty potřebné k provedení měření.....	21
2.4.1 Karta probanda .....	22
2.4.2 Protokol experimentu .....	22
<b>3 Metody .....</b>	<b>23</b>
3.1 Subjekty.....	23
3.2 Technické zajištění měření.....	23
3.3 Kalibrace spirometru .....	23
3.4 Základní spirometrické vyšetření .....	23
3.5 Sledování dechových objemů.....	24
3.6 Návrh pilotního experimentu s řízenou plicní ventilací .....	25

3.7	Metody zpracování dat .....	26
3.7.1	Metody zpracování dat ze spirometru .....	26
3.7.2	Určení normality dat .....	26
3.7.3	Studentův t-test .....	26
<b>4</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>28</b>
4.1	Test normality .....	28
4.2	Studentův t-test .....	28
4.3	Průměrné dechové objemy .....	28
4.4	Závislost dechového objemu na čase .....	29
	Dechové objemy .....	31
4.5	Konkrétní změny dechových objemů .....	32
<b>5</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>37</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>38</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>41</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>42</b>



# Seznam symbolů a zkratk

## Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
$V_T$	l	Dechový objem
$V_D$	l	Mrtvý dechový prostor
$V_A$	l	Alveolární prostor
$ERV$	l	Rezervní expirační objem
$IRV$	l	Rezervní inspirační objem
$RV$	l	Reziduální objem
$VC$	l	Vitální kapacita plic
$TLC$	l	Celková kapacita plic
$FRC$	l	Funkční reziduální kapacita plic
$V_E$	l/min	Minutová ventilace plic
$MMV$	l/min	Maximální minutová ventilace plic
$FEV_1$	l/s	Jednosekundová vitální kapacita plic
$C$	$m^3 \cdot Pa^{-1}$	Poddajnost respirační soustavy
$\Delta V$	l	Přírůstek dodaného objemu
$\Delta p$	Pa	Jednotkové navýšení tlaku
$C_L$	$m^3 \cdot Pa^{-1}$	Poddajnost plic
$C_{CW}$	$m^3 \cdot Pa^{-1}$	Poddajnost hrudní stěny

## Seznam zkratk

Zkratka	Význam
EIT	Elektrická impedanční tomografie (Electrical Impedance Tomography)
BMI	Index tělesné hmotnosti (Body Mass Index)

# 1 Úvod

Elektrická impedanční tomografie (Electrical Impedance Tomography, dále jen EIT) je zobrazovací lékařská technika, která používá nízkofrekvenční elektrické proudy k zobrazení elektrických vlastností tkání a vnitřních struktur těla [1] [2].

Jedná se o neinvazivní zobrazovací metodu, která umožňuje kontinuální monitorování u lůžka pacienta, pracuje bez radiace a neohrožuje pacientovo zdraví [1] [3] [4]. Ve srovnání s jinými běžně používanými zobrazovacími metodami, např. s výpočetní tomografií (CT) nebo magnetickou rezonancí (MRI), má EIT výhodu v nízké pořizovací ceně, rychlosti sběru dat a také nebyly zjištěny žádné vedlejší účinky nebo rizika jejího použití [2] [5].

EIT se nejčastěji používá při vyšetření a monitorování fyziologických funkcí plic nebo při zobrazování distribuce plynu v plicích pacienta, který je připojený na umělou plicní ventilaci [2]. Umožňuje sledování regionální i celkové distribuce plynu v plicích, zobrazování oblastí postižených hyperinflací či plicními atelektázami [6]. EIT nachází také uplatnění při vyšetření prsu, používá se ke screeningu rakoviny prsu či při zánětech prsní žlázy [2]. EIT se používá také v neurologii k diagnostice mozkové ischemie nebo mozkového krvácení, dále k diagnostikování nádorů podkožních tkání a k měření rychlosti vyprazdňování žaludku [2] [5].

Elektrická impedanční tomografie má podle studie S. Leonhardta a spol. [3] velký potenciál využití při monitorování plic pacientů během mechanické ventilace a je v klinické praxi čím dál více používanou zobrazovací metodou.

## 1.1 Přehled současného stavu

Tato podkapitola, které je dále rozčleněná do dílčích částí, slouží k uvedení čtenáře do problematiky, obsahuje teoretické informace, které jsou nezbytně nutné k pochopení praktické části práce.

### 1.1.1 Princip elektrické impedanční tomografie

Jedná se o diagnostickou metodu, která poskytuje rovinné zobrazení konduktivity prostředí [6]. Přestože se jedná o zobrazování rozložení konduktivity ve tkáni, ujal se označení impedanční tomografie [6]. Konduktivita neboli měrná elektrická vodivost  $\sigma$  udávaná v  $S \cdot m^{-1}$  je schopnost prostředí vést elektrický proud [6]. Rezistivita neboli měrný elektrický odpor  $\rho$  s jednotkou  $\Omega \cdot m$  je materiálová konstanta vodičů [7]. Elektrická impedance  $Z$  udávaná v  $\Omega$  charakterizuje zdánlivý odpor součástky v obvodu střídavého harmonického proudu [7].

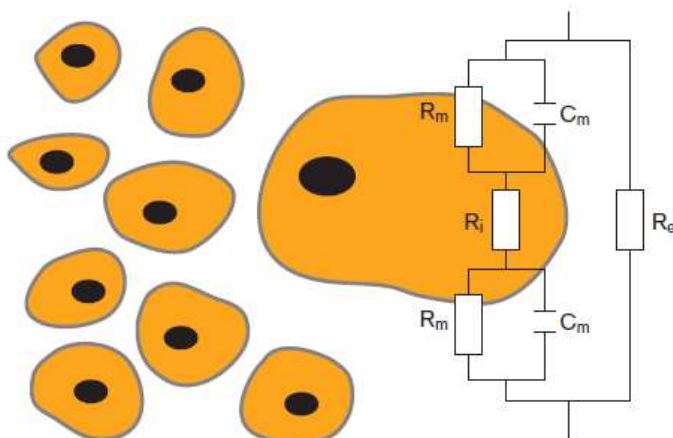
Velikost elektrické impedance dané tkáni závisí zejména na typu tkáně, její teplotě a dalších fyziologických parametrech [6]. Hodnoty elektrické impedance pro vybrané tkáně a orgány jsou uvedeny v Tabulce 1.1.

**Tabulka 1.1** Rezistivita tkání a orgánů pro frekvence 20-100 kHz. [6]

Tkáň	Rezistivita ( $\Omega \cdot cm$ )
Mozkomíšní mok	65
Plasma	66
Krev	150
Játra	350-550
Kosterní svalstvo	125-150 (longitudinálně)
	1800-2300 (transverzálně)
Srdeční sval	160-575 (longitudinálně)
	424-181 (transverzálně)
Nervová tkáň:	580
bílá hmota	284
šedá hmota	682
Plíce	727-2363
Tuková tkáň	2060-2720
Kostní tkáň	16600

Při EIT se používají střídavé proudy v řádech miliampérů, jejichž průběh má sinusový tvar s harmonickou frekvencí v řádech kilohertzů (50 kHz), což je podmíněno strukturou buňky [3] [6]. Buněčná stěna je tvořená dvouvrstvou lipidů, kterou můžeme považovat za dielektrikum mající kapacitní charakter. Nemluvíme tedy o vodivosti prostředí, ale o zdánlivé vodivosti, při které dochází k fázovému posunu napětí proti proudu. Pokud buňku pomocí analogie nahradíme elektrickým obvodem, získáme paralelní kombinaci rezistorů a dvojici kapacitorů, viz Obrázek 1.1. Buněčná stěna je

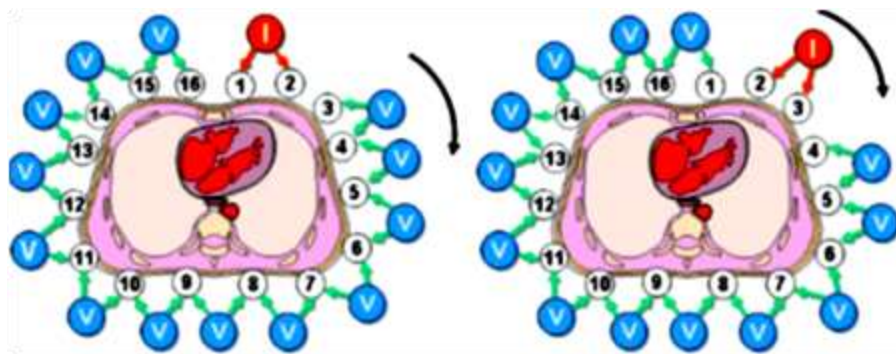
tvořena paralelní kombinací kondenzátoru  $C_m$ , představující lipidovou dvojvrstvu a rezistoru  $R_m$ , který reprezentuje iontové kanálky a pumpy procházející skrz membránu. Dále jsou ve schématu znázorněny rezistory  $R_i$  a  $R_e$ , které představují intracelulární a extracelulární prostory. Můžeme tvrdit, že se buňka chová jako filtr typu horní propust, tím pádem snáze propouští proudy o vyšších kmitočtech. [6]



**Obrázek 1.1** Elektrická analogie buňky. [8]

K měření impedance tkáně využívá EIT povrchové argentchloridové elektrody, které jsou umístěny po obvodu vyšetřované tkáně. Tyto elektrody mají dvojí funkci, jednak slouží jako zdrojové elektrody proudového impulsu a zároveň slouží jako elektrody k měření rozdílu potenciálů, tedy napětí. Přepínání elektrod z jednoho režimu do druhého je uskutečněno pomocí multiplexoru. [6] Je mnoho způsobů, jak mezi těmito dvěma režimy přepínat, existuje například metoda Neighboring, Cross, Opposite nebo metoda Adaptive [6]. Princip fungování EIT bude vysvětlen na elektrodovém pásu s 16 integrovanými elektrodami spolu s použitím metody Neighboring, kterou studie L. Steffena [3] uvádí jako nejčastěji užívanou výrobcí EIT systémů.

Mezi dvě sousedící elektrody je přiveden proudový impuls, průběh napětí se měří mezi zbývajících páry elektrod. Nejprve je proud přiveden na elektrody č. 1 a 2, elektrické napětí se měří mezi ostatními elektrodovými páry 3-4, 4-5 ,..., 15-16. Na Obrázku 1.2 můžeme vidět, že následně přivedeme proud na elektrody č. 2 a 3 a na zbývajících elektrodových párech změříme elektrické napětí. Postupně budeme měnit umístění zdrojových a měřících elektrod po obvodu až se dostaneme k elektrodovému páru 15-16 [6] [8]. Jedno úplné otočení zdrojových elektrod okolo hrudníku vytvoří 16 profilů napětí, každý z nich je tvořen 13 hodnotami napětí. Dostáváme 208 změřených hodnot napětí, které jsou také nazývány jako rám a slouží k rekonstrukci jednoho snímku EIT. [8]



**Obrázek 1.2** Princip přepínání režimů mezi jednotlivými elektrodami. [3]

### 1.1.2 Systém PulmoVista 500

Zařízení PulmoVista 500 (viz Obrázek 1.3) navrhla německá firma Dräger Medical jako funkční monitor plic pro klinické použití, který nepřetržitě vytváří snímky příčného řezu hrudníku [8].



**Obrázek 1.3** PulmoVista 500, Dräger. [8]

Systém používá silikonový pás s 16 rovnoměrně rozmístěnými integrovanými elektrodami, který se připíná k hrudníku pacienta [9]. Jedna elektroda, tzv. referenční, musí být umístěna na břicho pacienta [8]. Tato elektroda zajišťuje stejný elektrický potenciál pro všechna měření [8]. Výrobce poskytuje elektrodový pás v 5 velikostech, pro měření pacientů s obvodem hrudníku od 70 do 150 cm [9] [8]. Výrobce doporučuje, aby byl elektrodový pás umístěn do úrovně 4. až 6. mezižebří [9] [8]. U žen se elektrodový

pás z důvodu přítomnosti prsní žlázy aplikuje pod ní [10]. Této aplikaci se využívá i u mužů, kteří trpí nadbytkem tkáně v oblasti 4. až 6. mezižebří [10].

### **1.1.3 Vliv elektrodového pásu na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy**

Dalším výrobcem EIT systémů je např. společnost Swisstom. Tato firma poskytuje elektrodový pás, ve kterém jsou elektrody integrované do textilie SensorBelt. Ta obsahuje 32 elektronických obvodů, které řídí jednotlivé elektrody. Samotný pás je chráněn vestou, která je velmi pružná, udržuje elektrodový pás na místě při vzniklém pohybu a umožňuje jednoduché nasazení ležícímu pacientovi. Tvar pásu kopíruje žebra a tím umožňuje snadné dýchání. Výrobce uvádí, že konkurenční zařízení (i systém PulmoVista 500) používají pružné silikonové pásy, které mohou způsobovat obtíže s dýcháním, pokud jsou pevně nasazeny. [11]

Ve studii P. Gaggera a spol. [12] navrhují prototyp elektrodového pásu vytvořeného z biokompatibilní tkaniny, kde jsou aktivní elektrody (pozlacené měděné elektrody) společně propojeny krátkými kabely, jež jsou flexibilní a ploché. Tato konstrukce umožňuje určité natažení pásu po celé jeho délce, proto by nemělo docházet k mechanickému omezení hrudníku způsobeného elektrodovým pásem. Existuje studie K. Roubíka [9] zabývající se vlivem výběru velikosti elektrodového pásu na rozložení ventilace při použití EIT. Studie J. Karstena a spol. [13] prověřila vliv různého umístění elektrodového pásu při měření regionální ventilace plic pomocí EIT. Naopak studie E. Ericssona a spol. [4] se věnovala prozkoumání vlivu elektrodového pásu a pozice těla na regionální ventilace plic a perfuzní změny měřené pomocí EIT. Další studie L. Steffena [3] zmiňuje, že při dlouhodobé detekci pneumotoraxu je možnost vzniku vředů a nekrózy v zádové oblasti v důsledku tlaku elektrodového pásu [3]. Studie, které by se zmiňovaly přímo o naší problematice, nebyly nalezeny.

Vliv elektrodového pásu na dechové objemy pacienta bude určen monitorováním dechových objemů pomocí spirometru. Následující podkapitoly se tedy zabývají spirometrií, základními dechovými objemy a kapacitami, mechanikou dýchání, dechovým úsilím a poddajností respirační soustavy.

### **1.1.4 Spirometrie**

Spirometrie je vyšetřovací metoda sloužící k určení základních dechových objemů, kapacit a průtoků. Parametry, které dokážeme změřit spirometrem, můžeme rozdělit na statické a dynamické. Statické parametry poskytují informace o velikosti alveolárního prostoru, dynamické parametry informují zejména o proudění vzduchu v dýchacích cestách. [14]

### 1.1.5 Základní dechové objemy a kapacity

V této části práce budou teoreticky charakterizovány základní dechové objemy a kapacity, které budou následně zmiňovány v kapitole 3 Metody.

#### Statické objemy plic

Při klidném dýchání se v plicích jedním dechem vymění objem 0,5 l. Tento objem je nazývaný jako dechový objem ( $V_T$ ) [15].dechový objem je tvořen dvěma složkami, anatomickým mrtvým dechovým prostorem ( $V_D$ ) a alveolárním prostorem ( $V_A$ ) [14]. To znamená, že z každého nádechu o objemu 0,5 l se do alveolů dostane pouze 0,35 l [15]. Mrtvý prostor je objem vzduchu v dýchacích cestách, který se na výměně dýchacích plynů přímo nepodílí a jeho objem činí přibližně 0,15 l [15].

Dechový objem  $V_T$  lze vypočítat jako

$$V_T = V_D + V_A. \quad [14]$$

Rezervní expirační objem (ERV) je objem přibližně 1,1 l, který jsme vydechli po skončení klidového výdechu. Po skončení klidového nádechu můžeme v nádechu pokračovat a vdechnout další 3 l vzduchu, tento objem se nazývá rezervní inspirační objem (IRV). Ani maximální výdech nezajistí, že jsou plíce prázdné, stále se v nich nachází asi 1,2 l vzduchu, který se nazývá reziduální objem (RV). [15]

#### Statické plicní kapacity

Statické plicní kapacity se určují ze statických plicních objemů uvedených výše [15].

Součet dechového objemu, inspiračního a expiračního rezervního objemu je vitální kapacita plic (VC) [15]. Vitální kapacita plic je množství vzduchu, které můžeme s maximálním úsilím vydechnout po maximálním nádechu a má hodnotu přibližně 5,3 l [15] [16].

Vitální kapacitu plic určíme následujícím vztahem jako

$$VC = V_T + IRV + ERV. \quad [15]$$

Celková kapacita plic (TLC) je součet vitální kapacity a reziduálního objemu, má hodnotu 6-7 l [15] [16].

Celkovou vitální kapacitu plic určíme jako

$$TLC = VC + RV = V_T + IRV + ERV + RV. \quad [15]$$

Množství vzduchu, které zůstane v plicích po skončení klidného výdechu, je funkční reziduální kapacita plic (FRC) [15].

Funkční reziduální kapacitu plic vypočítáme pomocí následujícího vztahu jako

$$FRC = ERV + RV. \quad [15]$$

### Dynamické plicní objemy

Pro výměnu dýchacích plynů nejsou důležité pouze statické objemy plic, ale také objemy vzduchu, kterými jsou plíce ventilovány za jednotku času [15].

Množství vzduchu, které vydechneme z plic při určité dechové frekvenci  $f$  za minutu, se nazývá minutová ventilace plic ( $V_E$ ). Minutová ventilace plic je při klidném dýchání asi 8 l/min. [15]

Minutovou plicní ventilaci určíme jako

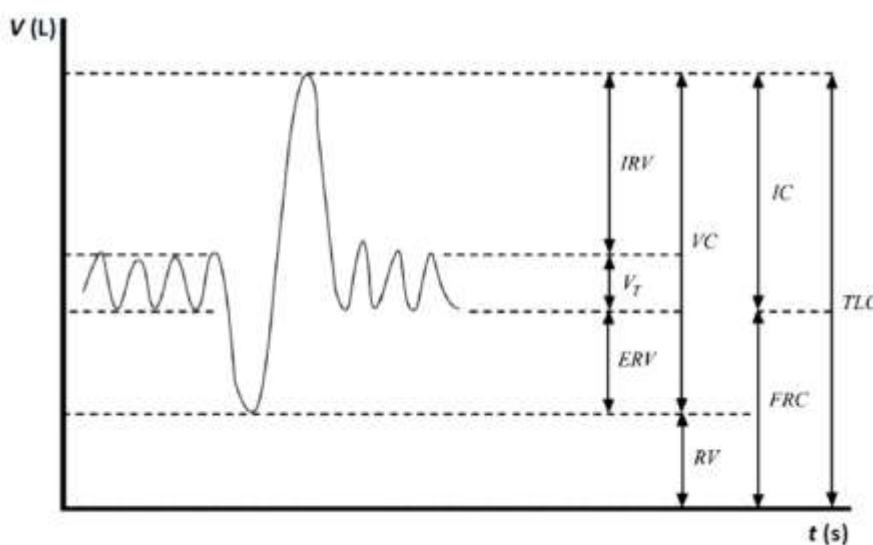
$$V_E = V_T \cdot f. \quad [15]$$

Maximální minutová ventilace (MMV,  $V_{\max}$ ) je největší množství vzduchu, které může být z plic exspirováno za minutu [15]. Běžná hodnota MMV je asi 125-170 l/min [15].

Jednosekundová vitální kapacita plic ( $FEV_1$ ), je množství vzduchu vydechnutého za jednu sekundu [15].

Tiffeneauův index je poměr jednosekundové vitální kapacity plic a vitální kapacity plic  $FEV_1/VC$ , udává procento vitální kapacity, která je vydechnutá za jednu sekundu usilovného výdechu [15] [17]. Typická hodnota indexu zdravého jedince je  $> 80 \%$  [15].

Statické dechové objemy a kapacity jsou znázorněny na Obrázku 1.4.



**Obrázek 1.4** Graf závislosti objemu na čase, znázornění statických dechových objemů a kapacit. [18]



### 1.1.6 Mechanika dýchání

K základním procesům, při kterých dochází k výměně dýchacích plynů v organismu, je dýchání neboli respirace. Při respiraci dochází k přijímání kyslíku, zatímco oxid uhličitý je vylučován. [18]

Respiraci je možné rozdělit na vnitřní a vnější. Výměna dýchacích plynů mezi vnějším prostředím a plicemi je nazývána vnější (plicní) respirace. Vnitřní (tkáňovou) respiraci je označována výměna dýchacích plynů mezi krví a plicní tkání. [18]

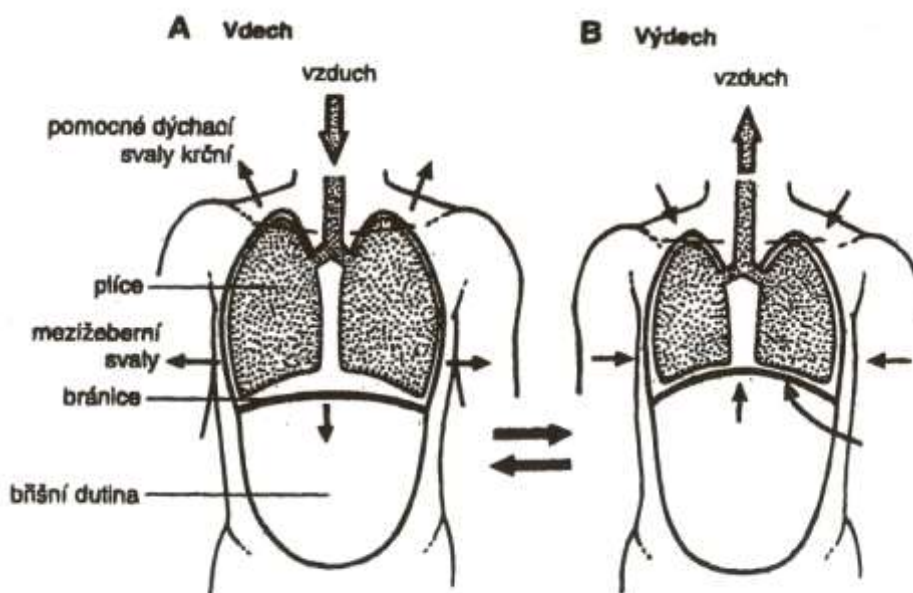
Vnější dýchání se skládá ze 4 dějů: plicní ventilace, distribuce, difúze a perfúze. [18]

V této podkapitole se budeme podrobněji zabývat plicní ventilací, dýchacími svaly a typy dýchání. [18]

#### Plicní ventilace

Vdech (inspirium) a výdech (expirum) jsou označovány jako dechové pohyby a jsou vnějším projevem ventilace [19].

Nádech je aktivní děj, při kterém dochází k zvětšování dutiny hrudní hlavními dýchacími svaly, tj. bránice a zevní mezižeburní svaly [19]. Bránice se stahuje a jako píst klesá dolů do dutiny břišní, čímž se zvětší podtlak v prostoru hrudníku [19]. Současně dochází i k stažení mezižeburních svalů, rozšiřuje se hrudní koš, což vyvolá zvětšení podtlaku v hrudníku a vzduch se vlivem podtlakového spádu dostává do plic [19]. Pohyb bránice a dalších dýchacích svalů při nádechu je znázorněn na Obrázku 1.5, v části A.



Obrázek 1.5 Pohyb dýchacích svalů při nádechu a výdechu. [20]

Výdech je z hlediska svalové práce dějem pasivním, který je závislý na hmotnosti samotného hrudníku, pružnosti hrudní stěny a elasticitě plic [19] [21]. Břišní svaly a vnitřní mezižeberní svaly táhnoucí žebra dolů se po dokončení výdechu smršťují, tento děj je zachycený na Obrázku 1.5, v části B [19].

### **Dýchací svaly**

Inspirační svaly zajišťují pohyb žeber vzhůru, čímž dochází ke zvětšování objemu hrudní dutiny [22]. Za hlavní inspirační svaly se považují bránice, šikmé svaly krční a vnější mezižeberní svaly [23]. Pilovitý sval přední, velký a malý prsní sval, podklíčkový sval, pilovitý sval přední a zadní se považují za svaly pomocné [23].

Protože je výdech pasivním dějem, výdechové svaly se zapojují pouze při zvýšeném dechovém úsilí [22]. Mezi hlavní výdechové svaly patří vnitřní mezižeberní svaly, přímý sval břišní, vnější a vnitřní břišní šikmý sval a šikmý břišní sval [23]. Příčný sval hrudní, pilovitý sval zadní dolní, čtyřhranný sval bederní a příčný sval hrudní jsou označovány za pomocné výdechové svaly [23] [24].

### **Typy dýchání**

Dýchání rozdělujeme na tři typy – břišní dýchání, dolní hrudní dýchání, horní hrudní dýchání, toto rozdělení je dané členěním hrudníku do tří sektorů [21].

Abdominální (břišní) sektor je umístěn pod dolní hrudní aperturou, funkcí tohoto sektoru je břišní (brániční) dýchání, které je nejvíce patrné v poloze vleže na zádech [21] [22] [25]. Při břišním dýchání je nejvíce využíván hlavní dýchací sval, tedy bránice a dochází k výměně dýchacích plynů ve spodní části plic [25].

Dolní hrudní sektor je tvořen 6. až 12. obratlem hrudní páteře a 5. až 12. dolním žebrem na hrudníku [21]. Funkcí tohoto sektoru je dolní hrudní dýchání (mezižeberní, laterální, dolní žeberní), při tomto typu dýchání se nejvíce využívají mezižeberní svaly [21] [25]. Dolní hrudní dýchání je častější u mužů [19].

Za horní hrudní sektor se považují dolní segmenty krční páteře, horní segmenty hrudní páteře a hrudník od horní apertury až po 5. žebro [21]. Za funkci toho segmentu je označováno horní hrudní dýchání neboli apikální dýchání [21]. I u horního hrudního dýchání se využívá mezižeberních svalů a dochází k výměně dýchacích plynů v horní části plic – v plicních hrotech [25]. Toto dýchání je typické pro ženy [19].

### **1.1.7 Dechové úsilí**

Dechové úsilí charakterizuje zátěž svalů, které se podílejí na natažení elastických struktur hrudníku a plic, z důvodu podnícení proudění vzduchu mezi vnějším prostředím a plícemi. Dále charakterizuje zátěž svalů podílejících se na překonání neelastických odporových sil, které jsou kladené protékajícímu plynu v dýchacích cestách. [26]

Dechové úsilí je rovno námaze jedince potřebné k uskutečnění spontánního nádechu a popřípadě i nuceného výdechu a je stanoveno dvěma veličinami, dechovou prací (WOB – z anglického překladu work of breathing) a pressure – time product (PTP – anglického překladu součin tlaku a času). [26] [27]

### 1.1.8 Poddajnost respirační soustavy

Schopnost respirační soustavy hromadit v sobě dodávaný plyn se nazývá poddajnost. Soustavy, které lze lehce nafouknout a při jejich plnění vzniká relativně malý tlak, jsou soustavy poddajné. Naopak soustavy, kde i malé množství dodaného plynu vyvolá velký nárůst tlaku, jsou soustavy tuhé, tedy mající malou hodnotu poddajnosti. [26]

Fyzikálně je poddajnost  $C$  definována jako přírůstek dodaného objemu  $\Delta V$  při jednotkovém navýšení tlaku  $\Delta p$  s jednotkou  $\text{m}^3 \cdot \text{Pa}^{-1}$

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p}. \quad [26]$$

Pokud chceme stanovit poddajnost samotného hrudního koše, musíme brát v úvahu poddajnost hrudní stěny a bránice. Poddajnost hrudního koše stanovíme jako poměr dechového objemu a jednotkové změny tlakového gradientu mezi atmosférickým a pleurálním tlakem. [26]

Celková poddajnost respirační soustavy  $C$  je definovaná jako sériové spojení poddajnosti plic  $C_L$  a poddajnosti hrudní stěny  $C_{CW}$  dle vztahu jako

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_L} + \frac{1}{C_{CW}}. \quad [26]$$

## 1.2 Cíle práce

Je možné, že při monitorování plic s využitím elektrické impedanční tomografie mohou vznikat nepřesnosti ve výsledných snímcích. K tomuto zkreslení může docházet stlačováním hrudníku elektrodovým pásem, který je při vyšetření pomocí EIT (např. systémem PulmoVista 500) nepostradatelnou součástí, musí být k hrudníku připevněn takovým způsobem, aby došlo k vodivému spojení pokožky s elektrodami. Výrobce systému PulmoVista 500 doporučuje, aby byla velikost elektrodového pásu zvolena co nejmenší možná vzhledem k hrudníku měřeného pacienta [28]. Už z této skutečnosti vyplývá, že by k stlačování hrudníku elektrodovým pásem mohlo docházet a pacient by musel vynakládat větší dechové úsilí, aby byly zachovány stejné hodnoty dechových objemů jako bez elektrodového pásu. Naším cílem je zjistit, zda má elektrodový pás vliv na dechové objemy pacienta.

## **2 Plán studie**

V této kapitole budou popsány veškeré kroky, které musely být uskutečněny před samotným zahájením studie.

### **2.1 Pilotní měření**

Před konečným návrhem studie je nutné provést pilotní měření, kterým se určí, zda je možné předběžně naplánovaný postup provést. Dalším úkolem pilotního měření je ověření zvolené metodiky zpracování dat. Ze získaných dat bylo určeno, jestli je dechový objem při měření s elektrodoým pásem a bez něj rozdílný, a zda má provedení studie opodstatnění. Pilotního měření se zúčastnil jeden proband.

### **2.2 Návrh studie**

Provedením pilotního měření byl určen přesný postup. Probandovi bude v poloze mezi sedem a lehem pomocí spirometru měřen dechový objem po dobu zhruba 15 minut. V poslední minutě tohoto měření proband provede zhruba 10 hlubokých nádechů a výdechů. První měření bude probíhat bez elektrodoého pásu, v druhé části měření bude probandovi do oblasti 4. až 6. mezižebří nasazen pás.

### **2.3 Dokumenty pro etikou komisi**

Protože pilotní experiment a následující měření byly prováděny na lidských subjektech, bylo potřeba požádat o schválení experimentu etickou komisí. Podle požadavků etické komise ČVUT FBMI bylo vytvořeno několik dokumentů: žádost o projednání výzkumného projektu, informovaný souhlas a sylabus výzkumného projektu. Tyto dokumenty jsou uvedeny v Přílohách 1, 2 a 3.

#### **2.3.1 Žádost o projednání**

Jedná se o dokument, ve kterém je uvedený stručný popis výzkumného projektu. Na základě této žádosti etická komise vyjádří své rozhodnutí o provedení, či neprovedení výzkumného projektu.

#### **2.3.2 Informovaný souhlas**

Tento dokument informuje dobrovolníka o průběhu celého experimentu. Nejprve je dobrovolník seznámen s názvem projektu, s hlavními řešiteli projektu a jejich pracovišti. Tento údaj je důležitý zejména kvůli informacím o osobě, která bude mít přístup k osobním datům získaným při experimentu.

V další části se dobrovolník dozví, čím se výzkumný projekt zabývá, jaké jsou jeho cíle a základní informace o EIT, která je podstatou celého projektu.

V následujícím odstavci je popsáno, jak bude měření probíhat. Dobrovolník se dozví, že se experimentu zúčastní pouze zdraví jedinci, je mu vysvětlen průběh celého měření. Proband je informován o tom, že před vlastním experimentem bude podroben základnímu spirometrickému vyšetření. Dozví se, že kontinuální sledování dechových objemů spirometrem se uskuteční dvakrát po sobě po dobu zhruba 15 minut pro jedno měření. Celkový čas experimentu je okolo 60 minut. Dobrovolník je seznámen s tím, že v první části měření se sledují dechové objemy pomocí spirometru bez elektrodového pásu, v druhé části měření dojde k vybrání správné velikosti elektrodového pásu, k jeho umístění okolo hrudníku a znovu se sledují dechové objemy.

Nepostradatelnou součástí informovaného souhlasu musí být vylučovací kritéria a zdravotní rizika studie. U měřených dobrovolníků by se mělo vyloučit onemocnění respirační soustavy (např. chronická obstrukční plicní nemoc, astma). Tiffeneauv index měřených osob by měl být větší než 80 %. Elektrodový pás, který je součástí přístroje PulmoVista 500, by se neměl aplikovat na hrudník, jehož kůže je v oblasti 5. mezižebří jakkoli poškozená nebo překrytá obvazovým materiálem. Proband je informován o možném diskomfortu, který může vzniknout celkovým časem, po který experiment probíhá nebo přítomností spirometrického náustku v dutině ústní po dobu přibližně 30 minut. Dále je proband poučen o bezpečnosti experimentu, dozví se, že spirometrické vyšetření je zcela bezpečné a že nejsou známy žádné vedlejší účinky nebo rizika. V informovaném souhlasu je také uvedeno, jak se bude se získanými daty zacházet a také, že v případě poškození probanda uhradí náklady na odškodnění FBMI ČVUT, ačkoli riziko je prakticky nulové. Probandovi je sděleno, že jeho účast na experimentu je dobrovolná a nenáleží mu za ní žádná odměna.

Svým podpisem proband potvrdí, že všemu uvedenému rozuměl, souhlasí s účastí ve studii a prohlašuje, že si není vědom, že by splňoval žádná vylučovací kritéria.

### **2.3.3 Sylabus výzkumného projektu**

Sylabus výzkumného projektu je dokument, který obsahuje základní informace o projektu, jeho cíle a testované hypotézy. Uvádí charakteristiku testovaných osob a možná rizika, která jim hrozí. Dále uvádí, jak je zajištěna bezpečnost probandů.

## **2.4 Dokumenty potřebné k provedení měření**

K tomu, abychom mohli uskutečnit měření byly vytvořeny dva dokumenty, a to karta probanda a protokol měření. Tyto dokumenty jsou k dohledání v Přílohách 5 a 6.

### **2.4.1 Karta probanda**

Karta probanda je dokument, který obsahuje veškeré potřebné informace o probandovi. Nejprve je proband vyzván, aby vyplnil své osobní údaje jako je jméno, příjmení, věk, bydliště, kontakt a rodné číslo. Proband je informován o tom, že v celé studii bude vystupovat pod identifikačním číslem (ID), které je mu oznámeno. Mezi další informace nacházející se na kartě patří údaje o probandově výšce, váze, body mass indexu, obvodu hrudníku a příslušné velikosti vybraného elektrodové pásu. Po provedení základního spirometrického vyšetření jsou do karty zapsány hodnoty funkční kapacity plic, vydechovaný objem za jednu sekundu a Tiffeneauův index. Mezi doplňující informace patří údaje ohledně současných a prodělaných onemocněních respirační soustavy, zdravotního stavu, kuřáctví v současnosti i minulosti a množství přijaté potravy a tekutin během posledních 3 hodin.

### **2.4.2 Protokol experimentu**

Tento dokument obsahuje jednotlivé části měření popsané v krocích, u kterých jsou okénka sloužící k odškrtnutí, aby osoba provádějící měření na nic nezapomněla. Protokol je označen identifikačním číslem, které se shoduje s číslem na kartě probanda. Do protokolu se také zaznamenává, kdo měření vykonává, jaké přístroje obsluhuje a také technické zajištění měření. Na konci tohoto dokumentu je místo pro poznámky, které slouží k zaznamenání nestandardních stavů.

## 3 Metody

Tato práce byla schválena etickou komisí Fakulty biomedicínského inženýrství. Schválenou žádost o projednání je možné najít v Příloze 4. Studie probíhala na Fakultě biomedicínského inženýrství v laboratoři speciálních přístrojů ARO a JIP. Celé studie se zúčastnilo 10 dobrovolníků.

### 3.1 Subjekty

Celkově se studie zúčastnilo 10 probandů, jednalo se o 5 žen a 5 mužů. Probandi byli vybíráni z řad studentů Fakulty biomedicínského inženýrství. V Tabulce 3.1 je uvedena stručná charakteristika skupiny dobrovolníků. Veškeré hodnoty v Tabulce 3.1 jsou uvedeny ve formě průměrné hodnoty  $\pm$  směrodatná odchylka.

**Tabulka 3.1** Charakteristika měřené skupiny.

Muži	5
Ženy	5
Věk (roky)	$21,5 \pm 0,7$
Váha (kg)	$76,6 \pm 13,4$
Výška (cm)	$178,2 \pm 13,2$
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	$24,0 \pm 1,9$
Obvod hrudníku v oblasti 4. až 6. mezižebří (cm)	$89,0 \pm 11,4$

### 3.2 Technické zajištění měření

K základnímu spirometrickému vyšetření a monitorování dechových objemů byl použit spirometr Ergostik firmy Geratherm a software Blue Cherry.

Na hrudník byl umístěn elektrodový pás, který se používá při vyšetřování EIT systémem PulmoVista 500 firmy Dräger Medical.

### 3.3 Kalibrace spirometru

Po zapnutí a uplynutí doby, po kterou se přístroj spouští, je nutné provést objemovou kalibraci přístroje. Kalibraci provádíme kalibrační stříkačkou od firmy HANS RUDOLPH, Inc. o objemu 3 l podle instrukcí v softwaru Blue Cherry.

### 3.4 Základní spirometrické vyšetření

Nejprve je nutné zadat nového probanda do softwaru, ve kterém je identifikován svým číslem. Dále musíme zadat informace o probandovi: jeho jméno, příjmení, datum

narození, výšku a hmotnost. Software sám dopočítá BMI, z anglického body mass index, což znamená index tělesné hmotnosti.

Měřený dobrovolník byl umístěn na polohovací lůžko do polohy mezi sedem a lehem. Bylo mu doporučeno během měření sledovat např. dokumentární film, číst knihu či hrát hru na mobilním telefonu. Toto opatření bylo zavedeno z toho důvodu, aby dobrovolník na měření dechových objemů nesměřoval svoji pozornost a dýchání tak probíhalo plynule a přirozeně.



**Obrázek 3.1** Proband při spirometrickém vyšetření.

Dobrovolníkovi byl do dutiny ústní vložen náustek se spirometrickou sondou a na nos nasazen kolíček, který zabraňuje dýchání nosem. Tato situace je zachycena na Obrázku 3.1.

V průběhu základního spirometrického vyšetření podával hlavní řešitel projektu probandovi instrukce, jaké dechové manévry má provádět. Dechové manévry následovaly v tomto pořadí: klidné dýchání, maximální výdech, maximální nádech, maximální rychlý výdech, maximální rychlý nádech a znovu klidné dýchání. Z tohoto vyšetření byla zaznamenána funkční kapacita plic a sekundový expirační objem.

### **3.5 Sledování dechových objemů**

Nejprve byly zaznamenávány dechové objemy probanda bez elektrodového pásu po dobu 15 minut. V poslední minutě tohoto úseku měření byl dobrovolník vyzván, aby provedl přibližně 10 hlubokých (tzv. forsírovaných) nádechů a výdechů. Po skončení tohoto měření byl probandovi změřen obvod hrudníku v oblasti 4. až 6. mezižebří, podle



kterého se určila správná velikost elektrodového pásu. Probandovi byl pás nasazen okolo hrudníku do oblasti 5. mezižebří, tato situace je znázorněna na Obrázku 3.2. Proband byl opět požádán, aby se na lůžku usadil do stejné polohy jako v předchozí fázi měření. Pokračovali jsme v měření dechových objemů po dobu dalších 15 minut a na závěr jsme zařadili 10 hlubokých nádechů a výdechů.



**Obrázek 3.2** Proband s aplikovaným elektrodovým pásem v oblasti 5. mezižebří.

### **3.6 Návrh pilotního experimentu s řízenou plicní ventilací**

Při provedení pilotního experimentu s použitím umělé plicní ventilace by první věc, kterou bychom museli udělat bylo nastavení ventilátoru. Umělá plicní ventilace může pracovat ve dvou režimech, v režimu objemovém a tlakovém. Podle režimu, který zvolíme, bude mít daná veličina konstantní hodnotu. V našem případě je vhodné použít režim tlakový, který zajistí, že i při nasazeném elektrodovém pásu bude ventilátor pracovat se stejným tlakem a bude se měnit objem.

Při měření bez řízené plicní ventilace, jsme měření prováděli na spontánně dýchajících dobrovolnících. To by v případě použití umělé plicní ventilace nebylo možné, protože pro spontánně dýchajícího člověka není jednoduché s řízenou plicní ventilací dýchat. Proto by bylo vhodné pilotní měření provést jako animální experiment na zcela relaxovaném zvířeti. Měření by bylo nejvhodnější provést na praseti, které se podle dizertační práce J. Štembírka [29] po morfologické i fyziologické stránce podobá v mnoha ohledech člověku.

Postup, podle kterého bychom postupovali, by zůstal shodný s naší studií. Po připojení zvířete k umělé plicní ventilaci a nastavení tlakového režimu bychom

prováděli monitorování dechových objemů např. po dobu 3 minut. Zvolený čas měření je díky připojení zvířete na umělou plicní ventilaci značně kratší než při spontánně dýchacím dobrovolníkovi. Následně bychom nasadili elektrodový pás ve správně zvolené velikosti a umístili ho do oblasti 5. mezižebří. S nasazeným elektrodovým pásem bychom pokračovali ve sledování dechových objemů po dobu přibližně 3 minut. V metodách naší studie je v poslední minutě sledování dechových objemů v obou fázích měření, zařazeno několik forsírovaných nádechů a výdechů, což by v případě animálního experimentu s relaxovaným prasetem nebylo možné uskutečnit.

### **3.7 Metody zpracování dat**

V následující kapitole bude popsáno, jakým způsobem se postupovalo při zpracování dat, a jak se data statisticky vyhodnocovala.

#### **3.7.1 Metody zpracování dat ze spirometru**

Data naměřená spirometrem Ergostik je možné ze softwaru Blue Cherry exportovat ve formátu \*.asc do programu Microsoft Excel, kde došlo k dalšímu zpracování. V Microsoft Excel byla určena průměrná hodnota dechového objemu pro klidné dýchání i pro dýchání forsírované. Průměrné hodnoty klidného dýchání byly vypočteny z 12 minut záznamu. V podkapitole 3.5 Sledování dechových objemů je uvedeno, že monitorování dechových objemů bude prováděno přibližně 15 minut. Ne pro všechny probandy byl tento zvolený čas dodržen, proto jsou průměrné hodnoty dechových objemů vypočteny z 12 minut záznamu. Po dobu 12 minut byli monitorováni všichni probandi. Průměrné hodnoty pro hluboké dýchání byly určeny z jedné minuty monitorování.

#### **3.7.2 Určení normality dat**

Protože předpokladem použití Studentova t-testu je normální rozdělení dat, bylo nutné tuto skutečnost nejprve ověřit. K ověření normality získaných dat byl použit Shapirův-Wilkův test normality. Test byl proveden na hladině významnosti 0,05 ve statistickém programu Statistica. Provedením Shapiro-Wilkova testu normality jsme získali p-hodnotu. K tomu, abychom mohli považovat rozdělení naměřených dat za normální, je nutné, aby získaná p-hodnota byla větší než 0,05.

#### **3.7.3 Studentův t-test**

K posouzení, zda jsou průměrné hodnoty statisticky významné byl použit Studentův párový t-test. Testovali jsme dvě skupiny hodnot, klidné dýchání bez elektrodového pásu a s ním, stejné hodnoty jsme testovali i pro dýchání forsírované. Párový test byl použit z toho důvodu, že měření probíhalo stále na stejné skupině probandů, jednou s elektrodovým pásem, a podruhé bez něj. Provedením Studentova párového t-testu jsme získali p-hodnotu. Pokud by získaná p-hodnota byla menší než hodnota 0,05, dají se

naměřené hodnoty považovat za statisticky významné. Testovali jsme nulovou hypotézu, která říká, že v průměrných hodnotách testovaných skupin nejsou žádné rozdíly, tedy že jsou stejné.

## 4 Výsledky

V následujících podkapitolách budou shrnuty všechny výsledky, které byly získány měřením na dobrovolnících. Výsledky studie budou prezentovány formou tabulek a grafů.

### 4.1 Test normality

V Tabulce 4.1 jsou uvedeny hodnoty získaných p-hodnot po provedení Shapiro – Wilkova testu normality.

**Tabulka 4.1** Hodnoty získaných p-hodnot po provedení Shapiro-Wilkova testu normality.

Testované hodnoty	Hodnota získané p-hodnoty
Klidné dýchání bez elektrodového pásu	0,079
Forsírované dýchání bez elektrodového pásu	0,481
Klidné dýchání s elektrodovým pásem	0,024
Forsírované dýchání s elektrodovým pásem	0,956

### 4.2 Studentův t-test

Provedením Studentova t-testu jsme získali p-hodnotu 0,707 pro měření bez elektrodového pásu a 0,726 pro měření s elektrodovým pásem.

### 4.3 Průměrné dechové objemy

V Tabulce 4.2 jsou uvedeny průměrné hodnoty získané při monitorování dechových objemů spirometrem pro ženy, které se studie zúčastnily. V Tabulce 4.3 jsou tytéž hodnoty uvedené pro muže.

**Tabulka 4.2** Vypočtené průměrné hodnoty dechových objemů žen, bez elektrodového pásu i s ním, pro klidné i forsírované dýchání.

	Dechové objemy (l)			
	Bez elektrodového pásu		S elektrodovým pásem	
	Klidné dýchání	Hluboké dýchání	Klidné dýchání	Hluboké dýchání
proband 1	0,41	1,80	0,41	2,03
proband 2	0,62	2,36	0,44	2,04
proband 3	0,55	2,34	0,61	2,57
proband 4	0,54	1,74	0,58	1,52
proband 5	0,56	1,39	0,41	1,15

**Tabulka 4.3** Vypočtené průměrné hodnoty dechových objemů mužů, bez elektrodového pásu i s ním, pro klidné i forsírované dýchání.

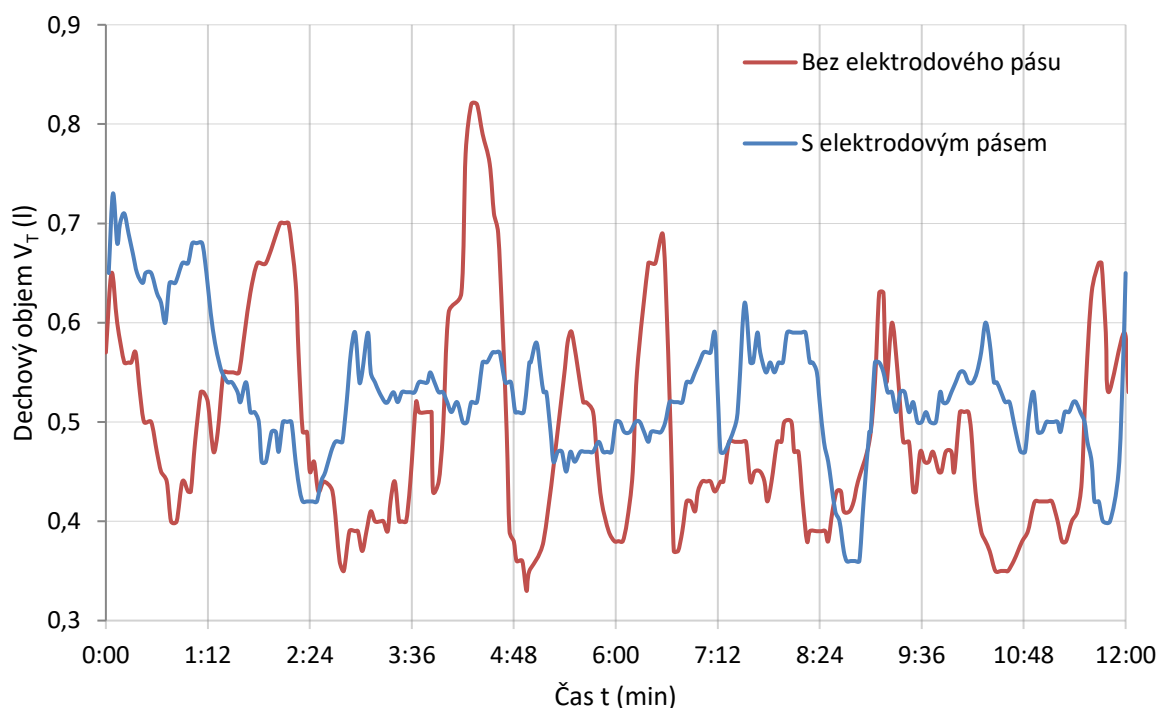
	Dechové objemy (l)			
	Bez elektrodového pásu		S elektrodovým pásem	
	Klidné dýchání	Hluboké dýchání	Klidné dýchání	Hluboké dýchání
proband 6	0,48	2,63	0,53	2,48
proband 7	0,95	4,26	1,17	3,95
proband 8	0,74	3,30	0,74	2,98
proband 9	0,45	2,40	0,46	2,33
proband 10	0,96	2,78	1,05	3,43

## 4.4 Závislost dechového objemu na čase

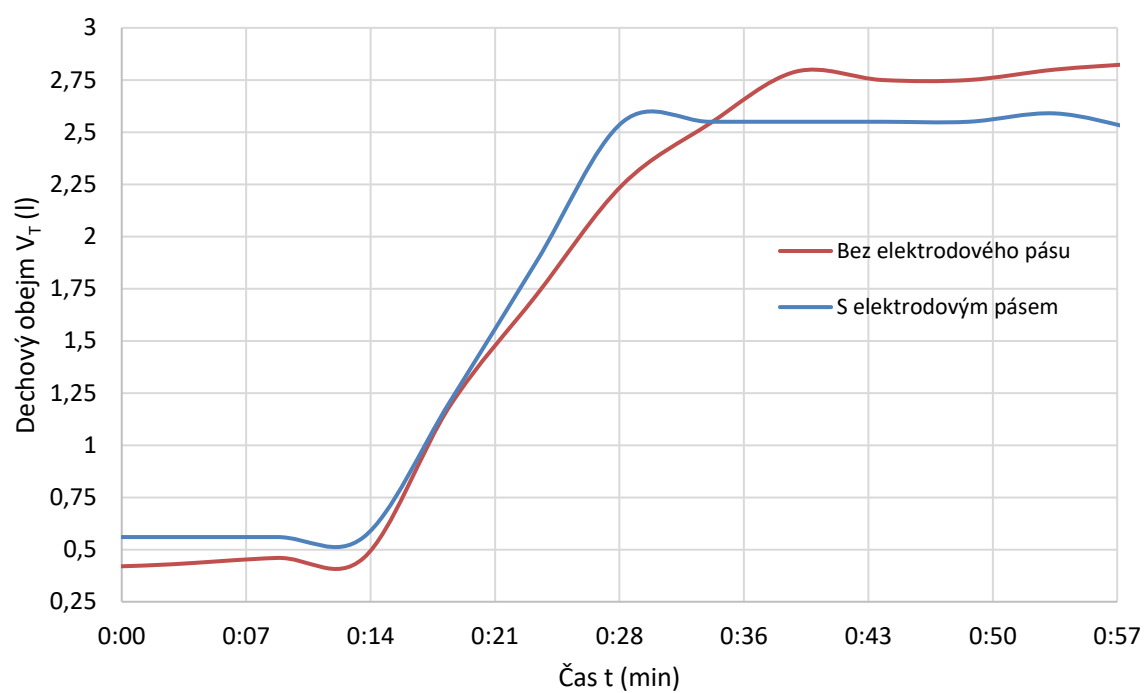
Na obrázku 4.1 je zaznamenána závislost velikosti dechového objemu na čase. Jsou zde uvedeny hodnoty pro dechové objemy naměřené bez elektrodového pásu i s elektrodovým pásem.

Na obrázku 4.2 je vynesena tato závislost pro dýchání forsírované, opět jsou zde zaznamenány hodnoty dechových objemů jak bez elektrodového pásu, tak s ním.

Tyto grafy slouží pouze jako ukázkové grafy pro jedno měření, pro ostatní provedená měření by závislost měla velmi podobný průběh, proto zde nejsou uvedena všechna měření.



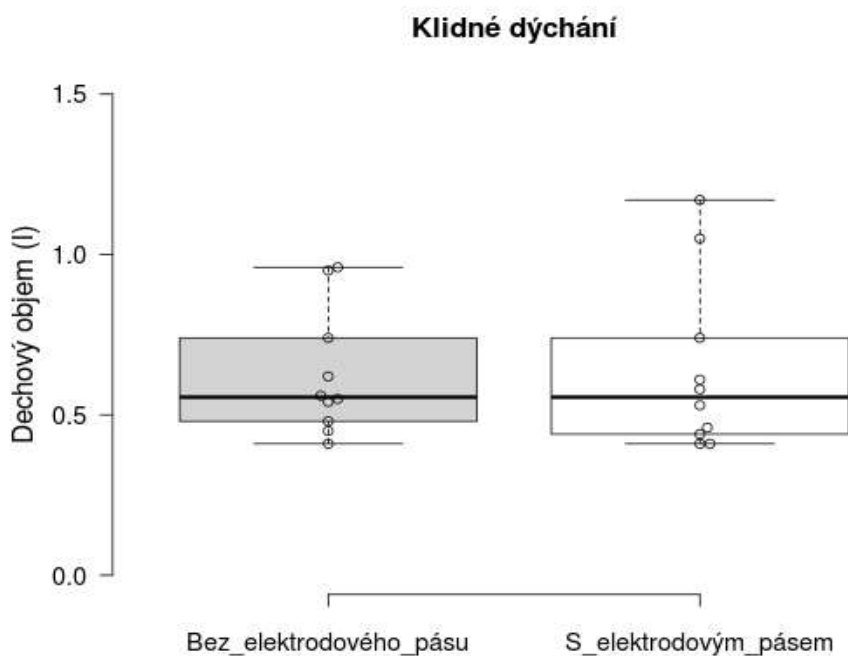
**Obrázek 4.1** Ukázkový průběh závislosti dechového objemu na čase pro klidné dýchání.



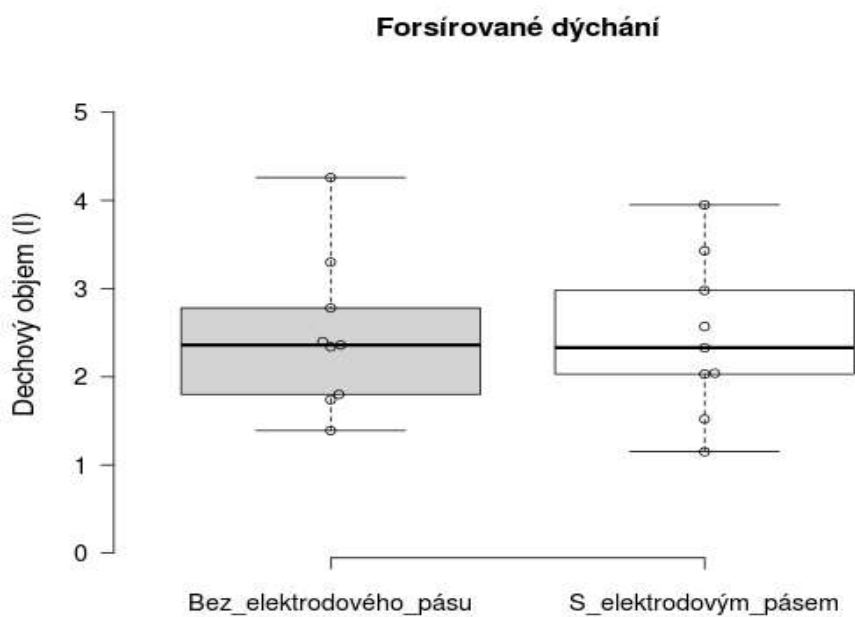
**Obrázek 4.2** Ukázkový průběh závislosti dechového objemu na čase pro forsírované dýchání.

## Dechové objemy

V této podkapitole jsou znázorněny obrázky s grafy závislostí dechových objemů na přítomnosti elektrodového pásu. Na Obrázku 4.3 je zaznamenána závislost pro klidné dýchání, na Obrázku 4.4 pro dýchání forsírované.



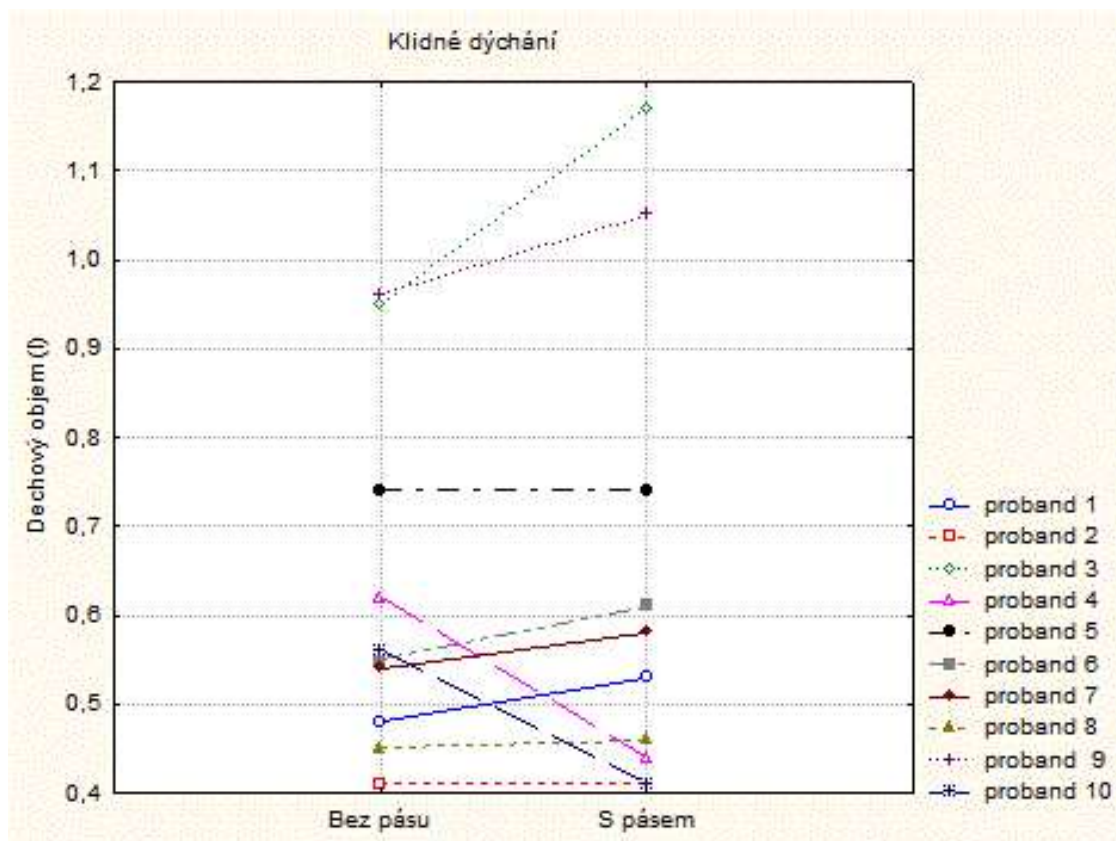
**Obrázek 4.3** Závislost dechového objemu na přítomnosti elektrodového pásu pro klidné dýchání.



**Obrázek 4.4** Závislost dechového objemu na přítomnosti elektrodového pásu pro forsírované dýchání.

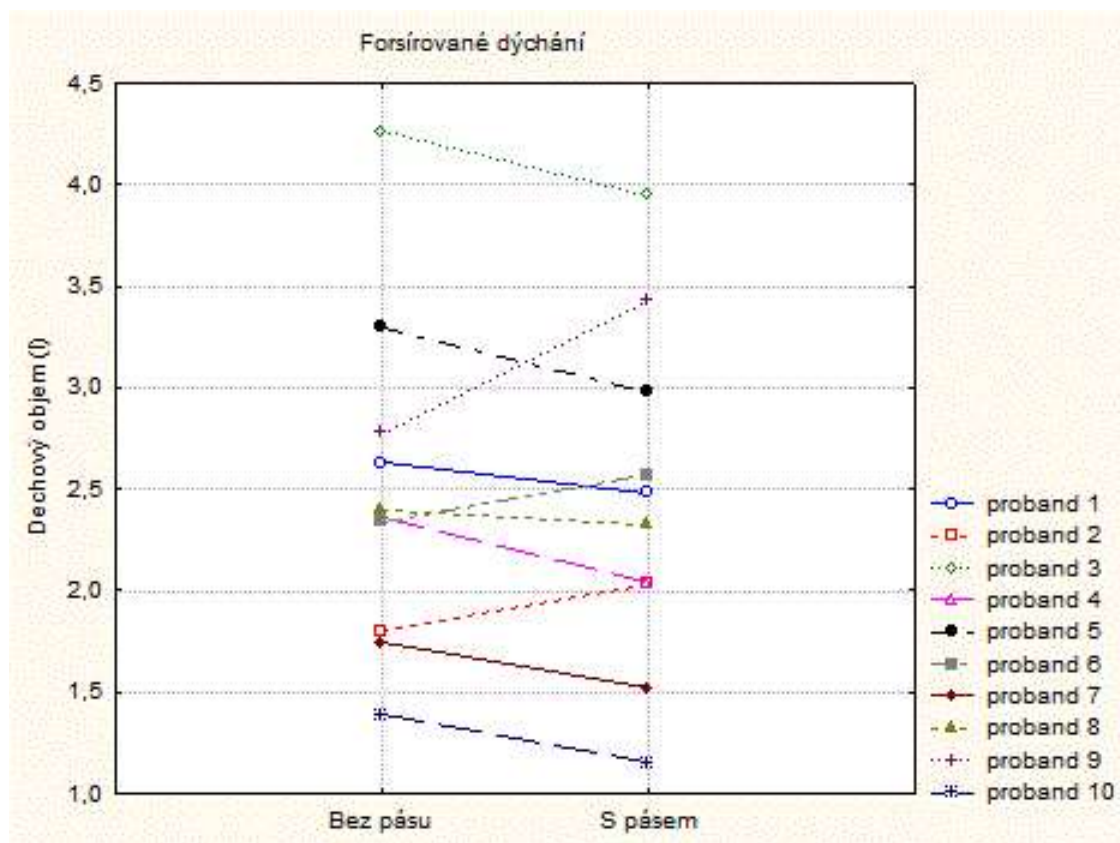
## 4.5 Konkrétní změny dechových objemů

Pomocí spojnicových grafů jsme zaznamenali konkrétní změny dechových objemů. Na Obrázku 4.5 jsou znázorněny změny dechových objemů pro klidné dýchání, bez elektrodového pásu i s ním. Jsou zde znázorněny změny pro všech 10 měřených probandů. Na Obrázku 4.6 jsou zaznamenány změny dechových objemů pro dýchání forsírované. I na tomto grafu jsou zaznamenány změny při monitorování dechových objemů bez elektrodového pásu i s ním.



**Obrázek 4.5** Konkrétní změny dechových objemů pro klidné dýchání bez elektrodového pásu a s pásem.





**Obrázek 4.6** Konkrétní změny dechových objemů pro forsírované dýchání bez elektrodového pásu a s ním.

## 5 Diskuse

Hlavním výsledkem této studie je zjištění, že elektrodový pás, který je nezbytnou součástí systému EIT PulmoVista 500, má vliv na dechové objemy. Bylo zjištěno, že při použití elektrodového pásu nemají dechové objemy stejné hodnoty jako při spontánním dýchání. Nepodařilo se jednoznačně stanovit, zda při použití elektrodového pásu dochází ke zvětšování nebo zmenšování dechových objemů.

Obecně by se dalo říci, že během klidného dýchání dochází u většiny probandů ke zvětšení dechových objemů po upnutí elektrodového pásu, zatímco při dýchání forsírovaném se většině probandů dechový objem zmenšil.

V Tabulce 4.1 jsou uvedeny průměrné hodnoty dechových objemů pro ženy, které se zúčastnily studie. Z tabulky je patrné, že při klidném dýchání se dechový objem po nasazení elektrodového pásu dvou ženám snížil, dvou zvýšil a pro jednu zůstal konstantní. Při forsírovaném dýchání byla situace rozdílná. Třem dobrovolnicím se dechový objem s elektrodovým pásem snížil, dvou se zvýšil.

V Tabulce 4.2 jsou zaznamenány průměrné dechové objemy mužů účastníků se studie. Při klidném dýchání se čtyřem dobrovolníkům dechový objem po aplikaci elektrodového pásu zvýšil a u jednoho dobrovolníka zůstal konstantní. Při provádění hlubokých nádechů a výdechů se čtyřem probandům dechový objem zvýšil, jednomu snížil. Na Obrázcích 4.5 a 4.6 jsou tyto konkrétní změny zaznamenány pro všechny probandy v grafech.

Při statistickém zpracování dat jsme nejprve pomocí Shapiro-Wilkova testu posoudili normalitu dat. Získané p-hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 4.1. Provedením tohoto testu jsme zjistili, že všechna data mají p-hodnotu větší než 0,05 jsou tedy normálně rozdělena, až na data získaná při měření klidného dýchání s elektrodovým pásem. Protože máme velmi malý počet probandů, pouze 10 osob, nemá statistické zpracování výsledků takovou vypovídající hodnotu, jako by tomu bylo u většího počtu dobrovolníků. I když jedna skupina dat neprokázala normalitu, tak u takto malého vzorku probandů se dá předpokládat, že hodnoty mají normální rozdělení a bude s nimi tak zacházeno. Důvodem tohoto předpokladu je, že použité statistické metody mají dostatečnou robustnost, to znamená, že neselžou při „mírném“ nesplnění požadavku na normální rozdělení [30].

Provedením Studentova t-testu jsme pro obě sady testovaných dat získali p-hodnotu větší než 0,05, což dokazuje, že rozdíly v testovaných hodnotách nejsou statisticky významné. Nulovou hypotézu na hladině významnosti 0,05 nezamítáme a předpokládáme, že platí. Průměrné hodnoty získané při dýchání bez elektrodového pásu se neliší od průměrných hodnot získaných při dýchání s elektrodovým pásem.

Výsledky studie jsou ovlivněny několika faktory. Jedním z faktorů je, že se studie zúčastnily 4 ženy, jejichž obvod hrudníku byl  $77,0 \pm 3,1$  cm a byla jim nasazena

odpovídající velikost elektrodového pásu S. Tyto obvody hrudníků jsou téměř u spodní hranice obvodu elektrodového pásu pro velikost S, což je 70 cm. U těchto dobrovolnic i přes maximální utažení elektrodového pásu nemuselo být dosaženo takového kontaktu elektrod s pokožkou, jak požaduje výrobce. Ideálním řešením tohoto problému by bylo nasazení elektrodového pásu ve velikosti XS, kterou však výrobce neposkytuje.

S touto problematikou souvisí další úskalí provedené studie, nehomogenita skupiny probandů. Měření bylo prováděno na mužích i ženách s obvodem hrudníku  $89,0 \pm 11,4$  cm. Probandi byli vybíráni pouze na základě vylučujících kritérií, jako je onemocnění respirační soustavy či aktivní implantáty. Na parametry jako pohlaví, obvod hrudníku či množství podkožního tuku nebyl brán ohled. Možným řešením této problematiky by bylo vybrat skupinu probandů obsahující pouze jedno zvolené pohlaví, s velmi podobným obvodem hrudníku a množstvím podkožního tuku. Takto by se zajistila vždy stejná velikost elektrodového pásu i jeho utažení, které ve studii nebylo standardizováno. Pás se utahoval vždy podle pocitu probanda, takže u stejné velikosti elektrodového pásu nebylo zajištěno stejné utažení.

Další věc, která mohla měření ovlivnit, je stáří pásu. Na stáří pásu a jeho použitelnosti závisí jeho elasticita. Čím je pás starší a používanější, tím by mohlo docházet ke snižování jeho elasticity. Tím pádem by nedocházelo k tak velkému stlačování hrudníku, jako by tomu bylo u pásu zcela nového. Podle našich zkušeností se domníváme, že elektrodové pásy velikosti S a M o délce od 70 do 96 cm jsou v praxi nejčastěji používané, na rozdíl od velikostí L, XL a XXL o délce 92 až 150 cm, které jsou používány spíše ojediněle. V naší studii byl nejčastěji použit elektrodový pás ve velikosti S a M, velikost L byla použita pouze jednou, tudíž by její elasticita měla být menší v porovnání s velikostmi S a M. Data, která byla naměřena při použití elektrodového pásu o velikosti L tento fakt ovšem nepotvrzují. Jak při klidném, tak forsírovaném dýchání docházelo k zvětšování dechových objemů. Pokud bychom chtěli studii provést tak, aby výsledky neovlivnil tento fakt, měření by se mělo provádět s novějšími pásy. Výrobce systému EIT PulmoVista 500 [31] udává, že elektrodový pás by se neměl používat déle než jeden rok, elektrodové pásy by se tedy měly používat s ohledem na tuto informaci. Při provádění studie by bylo použití novějších pásů přínosné, ovšem v klinické praxi se při použití systému EIT elektrodové pásy používají opakovaně, nespočetně krát po sobě. Z toho lze usoudit, že by tento fakt klinickou praxi neměl ovlivnit v takové míře.

Na výsledky studie mohla mít vliv zvolená metodika. První věcí, která mohla výsledky ovlivnit, je čas, po který monitorování dechových objemů probíhalo. Pro klidné dýchání byl zvolen časový úsek 15 minut, pro dýchání forsírované 10 hlubokých nádechů a výdechů, tedy přibližně 1 minuta. V klinické praxi je EIT používána zejména na pacientech, které je potřeba monitorovat dlouhodobě, v řádech hodin až dní. Je možné, že pro pacienty, které je nutné monitorovat dlouhodobě, by byly získány odlišné výsledky.

Další věc, která mohla ovlivnit výsledky, byla zvolená poloha probanda při měření dechových objemů. Zvolili jsme polohu mezi sedem a lehem, tak, aby byla poloha probandovi příjemná a vydržel v ní po celou dobu měření. Polohou mezi sedem a lehem nemuselo být zajištěno dýchání tzv. „do hrudníku“, které bylo v této studii žádané. Nemuselo tedy docházet k rozpínání hrudního koše, které by mohl elektrodový pás omezovat, jak bylo naším předpokladem. Jedním z možných řešení problematiky, že u probanda nedochází z velké části k dýchání „do hrudníku“, by bylo zvolení odlišné polohy při monitorování dechových objemů, či zařadit do studie více žen, které podle knihy L. Slezákové [19] dýchají „do hrudníku“ přirozeněji.

Dalším možným řešením naší studie, které by odstranilo řadu limitací uvedených výše, by bylo umístění tenzometru na elektrodový pás. Tenzometr by snímal mechanické napětí, které by bylo vytvářeno rozpínáním pásu při dýchání a dalo by se přesně identifikovat, jak moc se pás napíná.

K získání přesnějších výsledků je zapotřebí, aby se provedla nová studie, která by zohledňovala výše popsané záležitosti a byla provedena na značně větším vzorku subjektů, než je deset dobrovolníků.

V této studii se měl posuzovat vliv elektrodového pásu nejen na dechové objemy, ale i poddajnost hrudní stěny. Poddajnost hrudní stěny jako taková v naší studii měřena nebyla, protože ke stanovení přesné poddajnosti je zapotřebí měřit změnu tlaku v dýchacích cestách, což za našich podmínek není možné. Můžeme se pouze domnívat, že se změnami dechových objemů dochází i ke změnám v poddajnosti hrudní stěny.

Protože se jednoznačně neprokázalo, že při upnutí elektrodové pásu dochází k zvětšování nebo zmenšování dechových objemů, doporučení pro klinickou praxi budou velmi obecná. Jedním z doporučení by bylo, aby lékaři a další personál, kteří obsluhují systém EIT PulmoVista 500, byli seznámeni s tím, že nasazením elektrodového pásu může docházet ke změnám dechových objemů. Tento fakt je třeba zdůraznit při použití novějších pásů, kdy je jejich elasticita nízká ve srovnání s pásy dlouhodobě používanými.

## 6 Závěr

Provedením této studie bylo potvrzeno, že při použití elektrodového pásu, který je součástí systému EIT PulmoVista 500, nemají dechové objemy stejnou hodnotu jako při spontánním dýchání. Nepodařilo se však jednoznačně určit, jestli nasazením elektrodového pásu dochází k zvětšení nebo zmenšení hodnoty dechového objemu. Změny dechových objemů pro zkoumanou skupinu dobrovolníků neprokázaly statisticky významná zjištění. Nepodařilo se určit vliv elektrodového pásu na poddajnost hrudní stěny. K získání jasnějších výsledků je třeba provést navazující studii s větším vzorkem subjektů.

Pokud by pacient byl dlouhodobě monitorován systémem elektrické impedanční tomografie PulmoVista 500, je zde riziko, že dechové objemy budou po nasazení elektrodového pásu odlišné především při použití novějšího elektrodového pásu. Toto riziko by mělo být zohledněno při vytváření závěrů o stavu pacienta.

## Seznam použité literatury

- [1] KARSTEN, Jan, Katrin KRABBE, Hermann HEINZE, Klaus DALHOFF, Torsten MEIER a Daniel DRÖMANN. Bedside monitoring of ventilation distribution and alveolar inflammation in community-acquired pneumonia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* [online]. 2014, 28(4), 403-408 [cit. 2016-12-09]. DOI: 10.1007/s10877-014-9549-7. ISSN 13871307. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10877-014-9549-7>
- [2] SEDLÁŘ, Martin, Erik STAFFA a Vojtěch MORNSTEIN. *Zobrazovací metody využívající neionizující záření*. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2014. ISBN 978-80-210-7156-8.
- [3] LEONHARDT, Steffen a Burkhard LACHMANN. Electrical impedance tomography: the holy grail of ventilation and perfusion monitoring?. *Intensive Care Medicine* [online]. 2012, 38(12), 1917-1929 [cit. 2016-12-09]. DOI: 10.1007/s00134-012-2684-z. ISSN 03424642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00134-012-2684-z>
- [4] ERICSSON, Elin, Erik TESSELAAR a Folke SJÖBERG. Effect of Electrode Belt and Body Positions on Regional Pulmonary Ventilation- and Perfusion-Related Impedance Changes Measured by Electric Impedance Tomography. *PLoS ONE* 11. 2016, (6). DOI: 10.1371/journal.pone.0155913.
- [5] BROWN, BH. Electrical impedance tomography (EIT): a review. *Journal of Medical Engineering & Technology* [online]. 2009, 27(3), 97-108 [cit. 2016-12-31]. DOI: 10.1080/0309190021000059687. ISSN 03091902. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0309190021000059687>
- [6] ROUBÍK, Karel. Elektrická impedanční tomografie a její využití v respirační péči. *Lékař a technika*. 2008, 28(1), 42-47. DOI: [webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/AKK/ZSL\\_HS\\_EIT.pdf](http://webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/AKK/ZSL_HS_EIT.pdf). ISSN 0301-5491.
- [7] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4., upr. vyd. Praha: Prometheus, 2005. ISBN 9788071963073.
- [8] TESCHNER, Eckhard a Michael IMHOFF. *Electrical Impedance Tomography: The realisation of regional ventilation monitoring* [online]. 2nd edition. b.r. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: [http://www.draeger.com/sites/assets/publishingimages/generic/uk/booklets/rsp\\_eit\\_booklet\\_9066788\\_en.pdf](http://www.draeger.com/sites/assets/publishingimages/generic/uk/booklets/rsp_eit_booklet_9066788_en.pdf)

- [9] ROUBÍK, Karel a Kristýna BUZKOVÁ. The Effect of Electrode Belt Size Selection upon Evaluation of the Distribution of Ventilation Using Electrical Impedance Tomography. In: *The 5th IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering - EHB 2015*. Grigore T. Popa University of Medicine and Pharmacy, Iași, Romania, 2015.
- [10] PulmoVista® 500. Dräger [online]. b.r. [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: [http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Products/rsp\\_pulmovista\\_500/CS/rsp\\_pulmovista\\_500\\_pc\\_version\\_en.zip](http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Products/rsp_pulmovista_500/CS/rsp_pulmovista_500_pc_version_en.zip)
- [11] *Scientific Library* [online]. b.r. [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: [http://www.swisstom.com/wp-content/uploads/GB\\_White-Paper-on-novel-EIT-interfaces\\_2ST800-103\\_Rev.001.pdf](http://www.swisstom.com/wp-content/uploads/GB_White-Paper-on-novel-EIT-interfaces_2ST800-103_Rev.001.pdf)
- [12] GAGGERO, Pascal, Andy ADLER, Josef BRUNNER a Peter SEITZ. *Electrical impedance tomography system based on active electrodes* [online]. 2012, (33) [cit. 2016-11-07]. DOI: 10.1088/0967-3334/33/5/831. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22531225>
- [13] KARSTEN, Jan, Thomas STUEBER, Nicolas VOIGT, Eckhard TESCHNER a Hermann HEINZE. Influence of different electrode belt positions on electrical impedance tomography imaging of regional ventilation: a prospective observational study. *Critical Care* [online]. 2015, 20(1), - [cit. 2016-12-09]. DOI: 10.1186/s13054-015-1161-9. ISSN 13648535. Dostupné z: <http://ccforum.com/content/20/1/3>
- [14] KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 9788024730684.
- [15] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 8024705125.
- [16] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. přeprac. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 9788024706306.
- [17] PERNICOVÁ, Lenka. *Spirometrie v prostředí Labview*. Brno, 2010. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Vratislav Harabiš.
- [18] Mechanika dýchání. *Wikiskripta* [online]. b.r. [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Mechanika\\_d%C3%BDch%C3%A1n%C3%AD](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Mechanika_d%C3%BDch%C3%A1n%C3%AD)
- [19] SLEZÁKOVÁ, Lenka. *Ošetřovatelství v pediatrii*. Praha: Grada, 2010. ISBN 9788024732862.

- [20] NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. *Biologie člověka*. 3., rozš. a upr. vyd. Praha: Fortuna, 2002. ISBN 8071688193.
- [21] KRÁLOVÁ, Helena. *Respirační fyzioterapie v akutní medicíně*. Praha, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce MUDr. Tereza Gueye.
- [22] BAREŠOVÁ, Jana. *Bránice a její dýchací a posturální funkce*. Olomouc, 2003. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce MUDr. Radmil Dvořák.
- [23] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2011-2016. ISBN 9788024738178.
- [24] ROMÁNKOVÁ, Monika. *Využití dechových a relaxačních cvičení ve fitness*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Alena Pokorná, Ph.D.
- [25] VYCHODILOVÁ, Renáta, Lada ANDROVÁ a Hana VRTĚLOVÁ. *Rollfit, aneb, Rolujeme a cvičíme s pěnovými válci*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 9788024756738.
- [26] VLČEK, Štěpán. *Vyhodnocování dechového úsilí při vysokofrekvenční oscilační ventilaci*. Kladno, 2013. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Jakub Ráfl.
- [27] BARTONÍČEK, Jakub. *Detekce změny dechového úsilí při ventilaci helioxem*. Kladno, 2013. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Jakub Ráfl.
- [28] PulmoVista® 500. *Dräger* [online]. b.r. [cit. 2016-10-19]. Dostupné z: [http://www.draeger.com/sites/cs\\_cz/Pages/Hospital/PulmoVista-500.aspx](http://www.draeger.com/sites/cs_cz/Pages/Hospital/PulmoVista-500.aspx)
- [29] ŠTEMBÍREK, Jan. Brno, 2013. Dizertační práce. Masarykova univerzita Brno, Lékařská fakulta, Stomatologická klinika.
- [30] 18. Metody robustního odhadu. *IngGeo-portál inženýrské geodézie* [online]. b.r. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: [http://inggeo.fsv.cvut.cz/wiki/doku.php?id=04\\_teorie\\_chyb:0418\\_robustni\\_odhad](http://inggeo.fsv.cvut.cz/wiki/doku.php?id=04_teorie_chyb:0418_robustni_odhad)
- [31] *PulmoVista 500: Elektrický impedanční tomograf: Návod k použití*. 2. vydání. Lübeck, Německo: Dräger Medical GmbH, 2010.



# Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Elektrická analogie buňky. [8] .....	12
Obrázek 1.2 Princip přepínání režimů mezi jednotlivými elektrodami. [3] .....	13
Obrázek 1.3 PulmoVista 500, Dräger. [8] .....	13
Obrázek 1.4 Graf závislosti objemu na čase, znázornění statických dechových objemů a kapacit. [18] .....	16
Obrázek 1.5 Pohyb dýchacích svalů při nádechu a výdechu. [20] .....	17
Obrázek 3.1 Proband při spirometrickém vyšetření. ....	24
Obrázek 3.2 Proband s aplikovaným elektrodovým pásem v oblasti 5. mezižebří. ....	25
Obrázek 4.1 Ukázkový průběh závislosti dechového objemu na čase pro klidné dýchání.....	29
Obrázek 4.2 Ukázkový průběh závislosti dechového objemu na čase pro forsírované dýchání.....	30
Obrázek 4.3 Závislost dechového objemu na přítomnosti elektrodového pásu pro klidné dýchání.....	31
Obrázek 4.4 Závislost dechového objemu na přítomnosti elektrodového pásu pro forsírované dýchání. ....	31
Obrázek 4.5 Konkrétní změny dechových objemů pro klidné dýchání bez elektrodového pásu a s pásem.....	32
Obrázek 4.6 Konkrétní změny dechových objemů pro forsírované dýchání bez elektrodového pásu a s ním.....	33

## Seznam příloh

Příloha 1 Sylabus výzkumného projektu .....	43
Příloha 2 Informovaný souhlas a informace pro subjekt hodnocení .....	45
Příloha 3 Žádost o projednání a vyjádření etické komise.....	48
Příloha 4 Vyjádření souhlasu etické komise FBMI ČVUT .....	50
Příloha 5 Karta probanda .....	51
Příloha 6 Protokol měření.....	53

## Příloha 1 Sylabus výzkumného projektu

### Sylabus výzkumného projektu

A: Základní údaje o výzkumném projektu:	
Název projektu: <b>Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy</b>	
Typ studie:	<input checked="" type="checkbox"/> intervenční <input type="checkbox"/> observační
	<input checked="" type="checkbox"/> prospektivní <input type="checkbox"/> retrospektivní
Půjde o práci:	<input checked="" type="checkbox"/> s osobami <input type="checkbox"/> s laboratorními zvířaty <i>(V závislosti na typu testovaných subjektů vyplňte buď část B, nebo část C tohoto sylabu)</i>
Cíl projektu, testovaná hypotéza: Cílem projektu je zjistit, zda má elektrodový pás používaný při monitoraci plic pomocí elektrické impedanční tomografie vliv na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy vyšetřovaného jedince.	
Přínos projektu v technické, diagnostické, léčebné oblasti, pro lékařské poznání nebo individuální subjekt hodnocení:  Projekt je řešen v rámci bakalářské práce. Stanovený výzkumný cíl může být však důležitý pro praxi a podle současné literatury nebyl doposud řešen.	
B: Charakteristika souboru subjektů (osob) klinického hodnocení:	
Počet: 20 (rozmezí 10 až 30 podle průběžného vyhodnocení výsledků)	Věková struktura: převážně studenti FBMI, případně další dobrovolníci pro doplnění skupiny
Pohlaví: M/Ž	Způsob jejich náboru: dohodou na FBMI
Odměna za účast: není	Jiné: není
Doba trvání celého projektu (datum od-do): 1. 10. 2016 do 1. 10. 2017	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení: typicky cca 60 min
Popis nakládání se subjekty, popis intervence, odebrání vzorků apod.: Před samotným měřením se provede základní spirometrické vyšetření. V první části měření budou pomocí spirometru sledovány dechové objemy probanda zhruba 15 minut. Následně je probandovi kolem hrudníku aplikován elektrodový pás do oblasti 5. mezižebří. S aplikovaným pásem jsou spirometrem znovu sledovány dechové objemy probanda přibližně 15 minut. Získaná data budou zpracována v programu Microsoft Excel a statisticky vyhodnocena.	
Liší se projekt od standardního postupu v denní praxi: <input checked="" type="checkbox"/> ANO <input type="checkbox"/> NE V případě, že ano, popište rozdíly:	

<p>Spirometrické vyšetření se standardně u studentů FBMI neprovádí. Jedná se však o zcela bezpečnou techniku monitorování dechových objemů, u které nejsou známy žádné vedlejší účinky, či potenciální rizika. Elektrodotový pás, který se nasazuje dobrovolníkům při druhé části měření, není připojen k EIT systému, a tak není jeho použití spojeno s žádnými možnými riziky. Bude použit spirometr Ergostik (Geratherm) a elektrodotový pás, který je příslušenstvím EIT systému PulmoVista 500 (Dräger).</p>					
<p>Možná rizika, nesnáze a obtíže pro subjekt hodnocení (včetně etických):</p> <p>Možným diskomfortem, který může během měření vzniknout, je přítomnost spirometrického náustku v dutině ústní po dobu celého sledování dechových objemů probanda, tedy přibližně 30 minut. Dalším diskomfortem pro probanda může být celková doba probíhajícího měření, která se pohybuje okolo 60 minut. Elektrodotový pás, který je součástí přístroje PulmoVista 500 se nesmí používat u probandů, jejichž pokožka je v oblasti umístění elektrodotového pásu, jakkoliv poškozená, nebo překrytá obvazovým materiálem. Vylučovacím kritériem pro spirometrické vyšetření jsou obstrukční onemocnění probanda, jako je například astma.</p>					
<p>Jak je zajištěna bezpečnost testovaného subjektu:</p> <p>Základní spirometrické vyšetření a sledování dechových objemů spirometrem Ergostik s platnou bezpečnostní technickou kontrolou je zcela bezpečné. Probandi splňující vylučující kritéria nebudou do studie zařazeni. Soukromí probandů při experimentu a ochrana jejich osobních údajů bude řádně zajištěna v souladu s legislativou a běžnou klinickou praxí. Při obtížích lze měření kdykoliv přerušit na žádost probanda.</p>					
<p>Kdo ponese náklady na odškodnění v případě poškození subjektu hodnocení:</p> <p>ČVUT FBMI, nicméně riziko je prakticky nulové.</p>					
<p><b>C: Charakteristika souboru laboratorních zvířat:</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Druh laboratorních zvířat:</td> <td>Počet:</td> </tr> <tr> <td>Doba trvání celého projektu (datum od-do):</td> <td>Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení:</td> </tr> </table> <p>Jak bude zajištěna péče o zvířata v průběhu experimentu:</p>		Druh laboratorních zvířat:	Počet:	Doba trvání celého projektu (datum od-do):	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení:
Druh laboratorních zvířat:	Počet:				
Doba trvání celého projektu (datum od-do):	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení:				
<p><b>D: Doplnující informace k výzkumnému projektu:</b></p> <p>Tento projekt představuje potenciál pro další výzkum zabývající se metodikou používání systému EIT pro monitoring plic.</p>					

V Kladně dne 6. 12. 2016

\_\_\_\_\_  
podpis hlavního řešitele

# Informovaný souhlas

## a informace pro subjekt hodnocení



### **Název projektu:**

Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy

### **Hlavní řešitel, spoluřešitelé a jejich pracoviště:**

Ing. Kristýna Buzková, prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., Tereza Blažková, ČVUT v Praze, FBMI.

Vážená studentko, vážený studente,

výzkumný projekt „Vliv elektrodového používaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy“, prováděný na FBMI ČVUT, se zabývá studiem vlivu elektrodového pásu na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy vyšetřovaného jedince.

Projekt je řešen v rámci bakalářské práce. Stanovený výzkumný cíl však může být důležitý pro praxi a podle současné literatury nebyl doposud řešen.

Elektrická impedanční tomografie (EIT) je zcela bezpečná, neinvazivní monitorovací technika plicní ventilace, která umožňuje kontinuální monitorování přímo u lůžka pacienta 24 hodin denně. K měření EIT je využíván silikonový elektrodový pás, který se umísťuje kolem hrudníku do oblasti 5. mezižebří. Velikost elektrodového pásu se volí co nejmenší možná vzhledem k obvodu hrudníku pacienta, aby docházelo k vodivému spojení pokožky a elektrod, které jsou rovnoměrně rozmístěné po obvodu pásu. Tento fakt vede k otázce, zda elektrodový pás nezpůsobuje stlačování hrudníku, při kterém pacient musí vynakládat větší dechové úsilí než by tomu bylo bez pásu.

Spirometrické vyšetření, které nám poskytne informace o objemech a kapacitách respiračního systému, je zcela bezpečné neinvazivní vyšetření plic.

Cílem výzkumného projektu je zjistit, zda má elektrodový pás vliv na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy.

### **Průběh měření:**

Experiment bude prováděn na zdravých dobrovolnících (probandech) zejména z řad studentů FBMI za použití elektrodového pásu používaného k měření EIT systémem PulmoVista

500 od německé firmy Dräger a spirometr Ergostik od německé firmy Geratherm. Proband bude na začátku měření podroben standardnímu spirometrickému vyšetření. Po tomto vyšetření budeme spirometrem kontinuálně sledovat jeho dechové objemy při klidném dýchání. Nejprve dojde k měření dechových objemů bez elektrodového pásu po dobu zhruba 15 minut. Následně bude probandovi změřen obvod hrudníku v oblasti 5. mezižebří, podle kterého bude vybrána správná velikost elektrodového pásu. Elektrodový pás se umístí na hrudník probanda do určené oblasti a znovu se provede monitorování dechových objemů spirometrem po dobu zhruba 15 minut.

#### **Vylučovací kritéria a zdravotní rizika:**

**Elektrodový pás, který je součástí přístroje PulmoVista 500, se nesmí používat u probandů, jejichž pokožka je v oblasti umístění elektrodového pásu, jakkoliv poškozená, nebo překrytá obvazovým materiálem.**

**Vylučovacím kritériem pro spirometrické vyšetření je obstrukční onemocnění probanda, jako je například chronická obstrukční plicní nemoc či astma. Proband svým podpisem tohoto informovaného podpisu stvrzuje, že těmto vylučujícím kritériím porozuměl a že tato vylučovací kritéria nenaplní.**

Účast probanda v tomto výzkumném projektu může být kromě přítomnosti výše popsaných vylučovacích kritérií ukončena v těchto případech: nachlazení, kašel a jiné onemocnění respirační soustavy, které by znemožňovalo provést spirometrické vyšetření.

Diskomfortem, který může během měření vzniknout, je přítomnost spirometrického náustku v dutině ústní po dobu celého sledování dechových objemů probanda, tedy přibližně 30 minut pro obě měření.

Dalším diskomfortem pro probanda může být celková doba probíhajícího měření, která se pohybuje okolo 60 minut. Kromě uvedených vylučujících kritérií je spirometrické vyšetření zcela bezpečné a nejsou známy žádné vedlejší účinky ani rizika.

Z naměřených dat nebudou vyvozovány jakékoli závěry o zdravotním stavu probanda.

Náklady na odškodnění v případě poškození probanda ponese FBMI ČVUT, nicméně riziko je prakticky nulové.

Účast na experimentu je zcela dobrovolná, bez nároku na jakoukoliv odměnu. Zároveň se nepředpokládají žádné finanční výdaje probanda.

Podepsáním tohoto písemného informovaného souhlasu souhlasíte s tím, že hlavní řešitelé a etická komise budou mít umožněn přímý přístup k dokumentaci probanda za účelem ověření průběhu studie anebo poskytnutých údajů, aniž dojde k porušení důvěrnosti informací o Vaší osobě, v míře povolené právními předpisy.

Záznamy, podle nichž lze identifikovat probanda, budou uschovány jako důvěrné a nebudou, v míře zaručené právními předpisy, veřejně zpřístupněny. Budou-li výsledky studie publikovány, totožnost probanda nebude zveřejněna.

Vyskytne-li se informace, která by mohla mít vliv na rozhodnutí probanda, zda pokračovat v účasti ve studii nebo ne, bude proband o této skutečnosti včas informován.

Další informace týkající se této studie a práv probandů lze získat u výše zmíněných řešitelů. V případě poškození zdraví v souvislosti se studií kontaktujte hlavního řešitele projektu.

Předpokládaná doba trvání experimentu v rámci jednoho probanda je typicky 60 minut.

Studie se zúčastní přibližně 20 probandů.

Vaše účast ve studii je dobrovolná, můžete ji odmítnout nebo můžete od účasti ve studii kdykoliv odstoupit, a to bez udání důvodu a bez jakýchkoliv finančních, právních či jiných následků.

**Prohlašuji a svým podpisem stvrzuji, že jsem se seznámil a porozuměl všemu výše uvedenému a souhlasím s účastí ve studii. Prohlašuji, že si nejsem vědom naplnění žádného z výše uvedených vylučovacích kritérií, které by znemožňovalo moji účast ve výzkumném projektu.**

Jméno probanda:

Odpovědný řešitel:

Datum narození:

Podpis odpovědného řešitele:

Podpis probadna:

Datum:

Datum:

## Příloha 3 Žádost o projednání a vyjádření etické komise

### Žádost o projednání výzkumného projektu v etické komisi FBMI ČVUT

*Application for approval of a research project by FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board*

**Název projektu:** Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy

**Name of the project:** Effect of electrode belt used for lung monitoring using electrical impedance tomography on chest wall compliance and tidal volume

**Hlavní řešitel projektu** (Jméno, pracoviště, e-mail): Ing. Kristýna Buzková, KBT FBMI ČVUT, kristyna.buzkova@fbmi.cvut.cz

#### Stručný popis projektu:

Elektrická impedanční tomografie (EIT) je zcela bezpečná, neinvazivní monitorovací technika plicní ventilace, která umožňuje kontinuální monitorování přímo u lůžka pacienta 24 hodin denně. K měření EIT je využíván silikonový elektrodový pás, který se umísťuje kolem hrudníku do oblasti 5. mezižebří. Velikost elektrodového pásu se volí co nejmenší možná vzhledem k obvodu hrudníku pacienta, aby docházelo k vodivému spojení pokožky a elektrod. Tento fakt vede k otázce, zda elektrodový pás nezpůsobuje stlačování hrudníku, při kterém pacient musí vynakládat větší dechové úsilí, než by tomu bylo bez pásu. Experiment bude prováděn na zdravých dobrovolnících zejména z řad studentů FBMI za použití elektrodového pásu, který je součástí EIT systému PulmoVista 500 (Dräger, Německo) a spirometru Egrostik (Geratherm, Německo).

**Charakter projektu:** ☐ Grantová úloha (název agentury):  
☐ Výzkum výzkumného týmu (specifikace):  
☐ Kvalifikační práce (specifikace):  
☒ Jiné: Bakalářská práce

#### Seznam příkládaných dokumentů:

- sylabus projektu
- informovaný souhlas vč. informace pro subjekt hodnocení

V Kladně dne 6. 12. 2016

---

*podpis hlavního řešitele*

### Vyjádření souhlasu etické komise FBMI ČVUT

*FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board approval*

**Projekt byl schválen etickou komisí FBMI ČVUT dne:**

**platný do:**

**pod číslem:**

Etická komise FBMI ČVUT v Praze, ve složení Mgr. Martina Dingová Šliková (předsedkyně), MUDr. Radek Matlach, RNDr. Táňa Jarošíková, CSc., Ing. Lucie Šedzmáková a prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., zhodnotila předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnicemi pro provádění biomedicínského výzkumu zahrnujícího lidské účastníky nebo laboratorní zvířata.



Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

V Kladně dne

\_\_\_\_\_  
*razítko etické komise FBMI ČVUT*

\_\_\_\_\_  
*podpis předsedy etické komise*

## Příloha 4 Vyjádření souhlasu etické komise FBMI ČVUT



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

### Žádost o projednání výzkumného projektu v etické komisi FBMI ČVUT

*Application for approval of a research project by FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board*

Název projektu: Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy

Name of the project: Effect of electrode belt used for lung monitoring using electrical impedance tomography on tidal volume

Hlavní řešitel projektu (Jméno, pracoviště, e-mail): Ing. Kristýna Buzková, KBT FBMI ČVUT, kristyna.buzkova@fbmi.cvut.cz

Stručný popis projektu (do 100 slov):

Elektrická impedanční tomografie (EIT) je zcela bezpečná, neinvazivní monitorovací technika plicní ventilace, která umožňuje kontinuální monitorování přímo u lůžka pacienta 24 hodin denně. K měření EIT je využíván elektrodový pás se šestnácti elektrodami, který se umísťuje kolem hrudníku do oblasti 5. mezižebří. Cílem projektu je zjistit pomocí spirometrie, zda má elektrodový pás používaný při monitoraci plic pomocí elektrické impedanční tomografie vliv na poddajnost hrudní stěny a dechové objemy vyšetřovaného jedince.

Charakter projektu: Grantová úloha (název agentury):  
Výzkum výzkumného týmu (specifikace):  
Kvalifikační práce (specifikace):  
☒ Jiné: Bakalářská práce

Seznam příkládaných dokumentů:

- sylabus projektu
- informovaný souhlas vč. informace pro subjekt hodnocení

V Kladně dne 27.2.2017

  
podpis hlavního řešitele

### Vyjádření souhlasu etické komise FBMI ČVUT

*FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board approval*

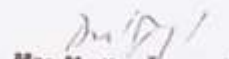
Projekt byl schválen etickou komisí FBMI ČVUT dne: 22.2.2017  
pod číslem: 01/017

platný do: 31.10.2017

Etická komise FBMI ČVUT v Praze, ve složení Mgr. Martina Šliková (předsedkyně), RNDr. Taťana Jarošíková, CSc. a prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., zhodnotila předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění biomedicínského výzkumu zahrnujícího lidské účastníky nebo laboratorní zvířata.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

ETICKÁ KOMISE  
České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství  
nám. Sítná 3105  
272 01 Kladno

  
Mgr. Martina ŠLIKOVÁ

V Kladně dne 22.2.2017

razítko etické komise FBMI ČVUT

podpis předsedy etické komise

ČVUT v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství  
nám. Sítná 3105  
272 01 Kladno

tel.: (+420) 224 358 419  
fax: (+420) 312 608 204  
www.fbmi.cvut.cz

IČ: 68407700  
DIČ: CZ68407700  
Bankovní spojení: KB Praha 6  
č.ú. 27-73800102870100

# Karta probanda

## Výzkumný projekt:

Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na dechové objemy



ID probanda:

## Základní údaje:

Jméno:

Místo bydliště:

Příjmení:

Kontakt:

Věk:

Rodné číslo:

## Naměřené údaje:

Výška (cm):

Hmotnost (kg):

BMI (kg/m<sup>2</sup>):

☐ < 30

☐ > 30 (obezita)

Obvod hrudníku (cm):

Velikost pásu:

☐ S (70 – 85 cm)

☐ M (80–96 cm)

☐ L (92 – 110 cm)

☐ XL (106–127 cm)

☐ XXL (124–150 cm)

## Základní spirometrické vyšetření:

Plicní objemy:

FVC:

FEV1:

**Tiffeneauův index (FEV1/VC):**

☐ v normě (> 0,8)

☐ mimo normu

**Doplňující informace:**

Nemoci respirační soustavy:

Prodělané nemoci respirační soustavy:

Aktivní implantáty:

Zdravotní stav:

Kuřák v současnosti:

☐ ano

☐ ne

dříve:

☐ ano

☐ ne

Množství přijaté potravy a tekutin v posledních třech hodinách:

Poznámky:

**Proband podepsal informovaný souhlas:**

☐ ano

☐ ne

**Zaznamenal:**

**Dne:**

## Příloha 6 Protokol měření

# Protokol měření

### Výzkumný projekt:

Vliv elektrodového pásu využívaného pro monitoraci plic elektrickou impedanční tomografií na dechové objemy



ID probanda:

Datum:

Čas:

Místo:

Protokol vyplnil:

### Personální zajištění:

Pozice	Funkce	Jméno
Zkoušející	Vede měření, vyplňuje protokol	
Obsluha EIT	Nasazuje elektrodový pás	
Obsluha spirometru	Obsluhuje spirometr	

### Technické zajištění:

Přístroj	Název	Výrobní číslo	Připraven
EIT	Dräger PulmoVista 500	ASBL – 0022 monitor: TPAA287841	<input type="checkbox"/>
Spirometr	Geratherm Respiratory	118201116	<input type="checkbox"/>
Kalibrační stříkačka	Hans Rudolph 3L	557-37215	<input type="checkbox"/>

### 1. Příprava k měření

- | Příprava a zapnutí měřicích přístrojů.
- | Synchronizace data a času na přístrojích a v počítači.
- | Seznámení probanda s měřením, zapsání ID do protokolu a karty probanda.

- | Vypnutí nebo přesunutí nepoužívaných elektrických přístrojů z důvodů možného elektro-magnetického rušení (včetně mobilních telefonů).
- | Kalibrace spirometru (spuštění počítače se SW pro spirometr, připojit spirometrickou sondu, kalibrace kalibrační stříkačkou).

- | Příprava elektrodového pásu dle naměřené velikosti hrudníku:

Obvod hrudníku	Velikost pásu	Zvolená velikost
70–85 cm	S	
80–96 cm	M	
92–110 cm	L	
106–127 cm	XL	
124–150 cm	XXL	

**Otvor na zapnutí elektrodového pásu (1- nejmenší, 6- největší):**

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6

**Poznámky v průběhu měření, záznam nestandardních stavů:**

## 2. Měření: měření dechových objemů bez elektrodového pásu

- | Usazení probanda na lůžko do polohy mezi sedem a lehem.
- | Poučení probanda o tom, že by měl během měření vykonávat činnost (četba, sledování filmu), díky které odpoutá svoji pozornost od dýchání.
- | Vložení spirometrické sondy do úst probanda a umístění kolíčku na jeho nos.
- | Provedení základního spirometrického vyšetření.

- | Zahájení záznamu dechových objemů ze spirometru. Proband dýchá klidně po dobu zhruba patnácti minut, poté ukončení záznamu ze spirometru.
- | Zahájení záznamu ze spirometru. Proband provede deset hlubokých nádechů a výdechů. Ukončení záznamů ze spirometrie a zaznamenání časů do tabulky níže.
- | Probandovi vyjmeme spirometrickou sondu a odstraníme kolíček z nosu.

<b>Délka záznamu bez elektrodového pásu</b>	
<b>Klidné dýchání</b>	
<b>Hluboké dýchání</b>	

### 3. Měření: měření dechových objemů s elektrodovým pásem

- | Umístění zvoleného elektrodového pásu do oblasti 5 mezižebří.
- | Uložení probanda do požadované polohy.
- | Vložení spirometrické sondy do úst probanda a umístění kolíčku na jeho nos.
- | Zahájení záznamu dechových objemů ze spirometru. Proband dýchá klidně po dobu zhruba patnácti minut, poté ukončení záznamu ze spirometru.
- | Zahájení záznamu ze spirometru. Proband provede deset hlubokých nádechů a výdechů. Ukončení záznamů ze spirometrie a zaznamenání časů do tabulky níže.
- | Probandovi vyjmeme spirometrickou sondu, odstraníme kolíček z nosu a sundáme elektrodový pás.

<b>Délka záznamu s elektrodovým pásem</b>	
<b>Klidné dýchání</b>	
<b>Hluboké dýchání</b>	

### 4. Ukončení měření

- | Očištění spirometrické sondy.
- | Zálohování naměřených dat ze spirometru na externí flash disk.
- | Vypnutí použitých přístrojů.
- | Očištění použitých přístrojů, uklizení na příslušná místa.
- | Uvedení pracoviště do původního stavu.

**Poznámky v průběhu měření, záznam nestandardních stavů:**